

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 7 月 7 日 (07.07.2005)

PCT

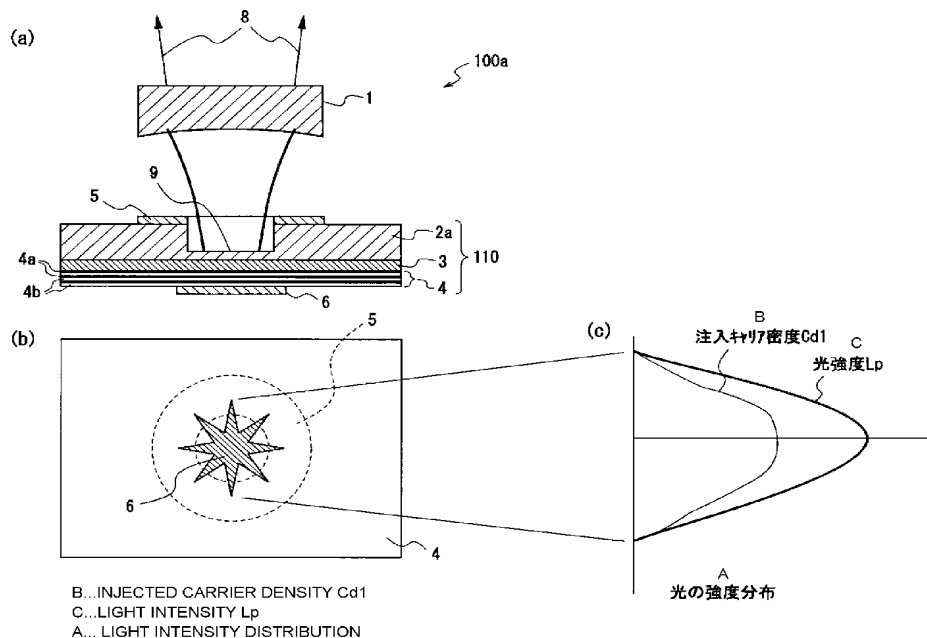
(10) 国際公開番号
WO 2005/062434 A1

- (51) 国際特許分類: **H01S 5/183**, 5/042, G02F 1/37 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/019060 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 水内 公典 (MIZU-UCHI, Kiminori). 笠澄 研一 (KASAZUMI, Ken'ichi). 森川 顕洋 (MORIKAWA, Akihiro).
(22) 国際出願日: 2004 年 12 月 21 日 (21.12.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 早瀬 憲一 (HAYASE, Kenichi); 〒5320003 大阪府大阪市淀川区宮原 3 丁目 4 番 30 号 ニッセイ 新大阪ビル 13 階 早瀬特許事務所 Osaka (JP).
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願 2003-425601 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, 2003 年 12 月 22 日 (22.12.2003) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1006 番地 Osaka (JP).

[続葉有]

(54) Title: SURFACE-EMITTING LASER AND LASER PROJECTOR

(54) 発明の名称: 面発光レーザおよびレーザ投射装置



(57) **Abstract:** A surface-emitting laser (100a) comprises an active layer (3) formed on a semiconductor substrate (2a) and a pair of upper and lower electrodes (5, 6) for injecting carriers into the active layer (3). The lower electrode (6) is shaped into a star when viewed from above so that the density of the current injected into the active layer (3) from the lower electrode (6) is high at the center of the lower electrode (6) and low at its periphery part. The density distribution of the carriers injected into the active layer of the surface-emitting laser (100a) corresponds to the power distribution of the light inside the active layer. As a result, hole burning due to an increase of the current density in the region corresponding to the peripheral part of the electrode does not occur in the active layer, and the transverse mode stability during high output operation is drastically enhanced, thereby improving the high-output characteristic.

[続葉有]

WO 2005/062434 A1



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 本発明は、半導体基板(2a)上に形成された活性層(3)と、前記活性層(3)にキャリアを注入する一対の上部電極(5)及び下部電極(6)とを有する面発光レーザ(100a)において、該下部電極(6)の平面形状を、該下部電極(6)から前記活性層(3)への電流の注入が、該下部電極(6)の中心部分では高い電流密度で、その周辺部分では低い電流密度で行われるよう星型形状としたものである。この面発光レーザ(100a)では、面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布が、活性層内での光のパワー分布に応じた分布となり、これにより、活性層の、電極周辺部に対応する領域での電流密度の増大によるホールバーニングの発生を回避して、高出力時の横モード安定性を大幅に増大させて高出力特性の向上を図ることができる。

明 細 書

面発光レーザおよびレーザ投射装置

技術分野

[0001] 本発明は、面発光レーザおよびレーザ投射装置に関し、特に、安定して高出力で動作する面発光レーザ、およびこれを光源として用いたレーザ投射装置に関するものである。

背景技術

[0002] 面発光レーザは、低しきい値でレーザ発振を行う、優れたビーム品質をもつ半導体レーザであり、出力光を高速に変調可能であるという変調特性を利用した光通信分野への応用が実現されている。しかしながら、面発光レーザの課題として高出力化が難しいという問題があった。

[0003] 面発光レーザは、薄膜により構成されているため、その構造上、共振器長が非常に短い。このため、共振器長を増大して十分な利得を得ることは難しい。

[0004] 一方、面発光レーザの駆動電流を増大して高出力化を図ることも考えられるが、面発光レーザでは、活性層内のキャリア密度が高すぎる場合、空間的ホールバーニングによる利得飽和により光出力が飽和して、高光出力動作が阻害される。

[0005] このようなことから、共振器長を増大したり駆動電流を増大したりすることなく面発光レーザの高出力化を図るには、面発光レーザにおけるビーム断面積を増大させることが有効であると考えられる。

[0006] ところが、このような共振器長の短い構造の面発光レーザでは、レーザの高出力化を図るためにビーム断面積を増大させると、共振器内での横モードがマルチモード化してしまい、ビーム品質や発振効率を著しく低下させるという問題が生じていた。

[0007] これに対して、このようなビーム品質や発振効率の低下をなくするようにした面発光レーザはすでに開発されており、例えば、特許文献1には、面発光レーザにおいて、横モードのマルチ化を抑えつつ、ビーム断面積を増大させたものが開示されている。

[0008] 図14は、特許文献1に開示の面発光レーザを説明する図であり、図14(a)はその断面構造、図14(b)はその下部電極の形状を示しており、また、図14(c)は、この面発光

レーザの活性層の、下部電極に対向する領域での光の強度分布を示している。

[0009] 図14(a)に示す面発光レーザ200は、半導体基板2と、該半導体基板2の一方の面に形成された活性層3と、該活性層3上に形成された反射層4とを有している。ここで、該反射層4は、屈折率の異なる材料4a及び4bを交互に積層してなる分散型ブラック反射層であり、以下、DBR(Distributed Bragg Reflector)層ともいう。また、上記面発光レーザ200は、上記DBR層4の表面上に形成された円形の下部電極600と、上記基板2のもう一方の面上に該下部電極600に対向する領域を囲むよう形成された、リング形状の上部電極5とを有している。

[0010] また、この面発光レーザ200は、上記表面電極5の上方に、その内側の基板表面に対向するよう配置された外部ミラー1を有しており、この面発光レーザ200では、DBR層4と外部ミラー1とにより、活性層3で発生した光をレーザ発振が生ずるよう増幅する共振器が構成されている。ここで、DBR層4は全反射層であり、外部ミラー1は一部透過ミラーである。

次に動作について説明する。

[0011] この面発光レーザ200では、上部電極5及び下部電極600の間に駆動電圧が印加され、活性層3内に電流が注入されると、活性層3内では光が発生し、発生した光は共振器により増幅される。そして、この注入電流の大きさが一定値、つまりレーザ発振閾値より大きくなると、共振器内でレーザ発振が生じ、レーザ光8が外部ミラー1を介して外部に出射される。このとき、レーザ光8は、面発光され、レーザ光の出射方向は、基板2の表面に対して垂直な方向となっている。

[0012] このように上記特許文献1に開示の面発光レーザでは、共振器を構成する一方のミラーを外部ミラー1として基板から離間して配置して、共振器長の増大を図っている。つまり、このような外部ミラー1を用いることにより、ビーム断面積が大きい値のものとなっても、共振モードをシングル化することが可能となり、高出力特性を実現している。

[0013] また、特許文献2には、面発光レーザにおいて活性層内のキャリア密度を均一化する電極構造が開示されている。

[0014] この特許文献2に開示されている面発光レーザでは、裏面電極を複数に分割することにより、活性層内へ注入する電流の分布を制御可能とし、これにより大口径の面

発光レーザを実現している。

特許文献1: 米国特許第6404797号明細書

特許文献2: 特開平11-233889号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0015] しかしながら、特許文献1に開示の面発光レーザ200では、高出力特性を実現する上で、活性層内におけるキャリア密度分布が問題となる。つまり、この文献記載の面発光レーザ200では、活性層3の、下部電極600に対応する領域での光の強度分布は、図14(c)に示すように、ガウス分布に近い分布となり、活性層の発光中心部分で光強度 L_p がピークとなっている。一方、面発光レーザ200の活性層3の、下部電極600に対応する領域では、その中心部とその周辺部とでは光強度分布に大きな偏りがあるにもかかわらず、活性層3内に注入されるキャリア密度 C_d は一樣である。このため、活性層3の下部電極600に対応する領域の中心部の周辺部分では、活性層内に存在するキャリアの密度が大きく、キャリアが過剰な状態となっており、一方、上記領域の中心部分では、キャリア不足の状態が生じている。このようなキャリアの不均一な分布により、活性層3では屈折率分布が発生し、共振モードがマルチ化してしまうこととなる。さらに、利得飽和の発生も懸念される。

[0016] この現象は、AlGaAs系半導体材料($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$))からなる赤外半導体レーザや、AlGaInP系半導体材料($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$))からなる赤色半導体レーザと比べて、利得飽和が生ずるしきいキャリア密度が極めて高く、なおかつ微分利得が高い窒化物系半導体レーザで特に顕著となる。

[0017] また、特許文献2に開示の面発光レーザでは、複数の電極を分割する部分の抵抗分離層により、活性層に注入される電流にロスが生じて効率が低下するという問題がある。

[0018] 本発明は、上記のような従来の問題点を解決したものであり、安定した横モードでレーザ発振を行うことができ、しかも活性層への電流注入を効率よく行うことができる高出力の面発光レーザ、並びにこのような高出力の面発光レーザを光源として用いたレーザ投射装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0019] 上記課題を解決するために、本発明の請求項1に記載の面発光レーザは、レーザ光の面発光を行う面発光レーザであって、半導体基板上に形成された活性層と、前記活性層にキャリアを注入する一対の電極とを有し、前記一対の電極は、その一方が1つの電極層からなり、該一方の電極から前記活性層への電流の注入を、該一方の電極の中心部分とその周辺部分とで異なる電流密度で行うものである、ことを特徴とするものである。
- [0020] これにより、活性層内に注入されるキャリアの密度分布を、活性層内での光強度分布に合わせて調整して、活性層内でのキャリア分布を均一にすることができ、その結果、高出力時の横モード安定性が大幅に増大した、優れた高出力特性を有する面発光レーザを実現することができる。
- [0021] 本発明の請求項2に記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、前記電極層と前記半導体層積層体とが接触する面密度は、前記電極層の中心部分とその周辺部分とで異なる、ことを特徴とするものである。
- [0022] これにより、活性層内に注入されるキャリアの密度分布を、電極層と半導体層積層体とが接触する面積により調整することができ、光強度分布を有する活性層内でのキャリア分布の均一化を、電極層の形状を変えるなどの簡単な方法で実現することができる。
- [0023] 本発明の請求項3に記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、前記一方の電極は、これを構成する電極層に複数の微小穴を、前記微小穴の占有密度が該一方の電極の中心部分とその周辺部分とで異なるよう形成したものである、ことを特徴とするものである。
- [0024] これにより、活性層内に注入されるキャリアの密度分布を、電極層に形成する複数の微小穴の配置や微小穴の大きさを変えることにより調整することができ、光強度分布を有する活性層内でのキャリア分布の均一化を、電極層の構造の簡単な改変により実現することができる。しかも、半導体層上での電極層全体の広がり大きくして、電極層からヒートシンクへの放熱効果をより高めることができ、より優れた高出力特性

を有する面発光レーザを実現することができる。

[0025] 本発明の請求項4に記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、前記一方の電極は、これを構成する電極層の抵抗値が該一方の電極の中心部分とその周辺部分とで異なる、ことを特徴とするものである。

[0026] これにより、電極層の材料や成分を変えて電極層の抵抗値を変えることにより、活性層に注入されるキャリアの密度分布を、活性層内での光強度分布に応じてより精密に調整することができる。

[0027] 本発明の請求項5に記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体と、該半導体層積層体と、前記一方の電極を構成する電極層との間に形成された抵抗層とを有し、前記抵抗層の抵抗値は、前記一方の電極の中心部に対応する部分とその周辺部に対応する部分とで異なる、ことを特徴とするものである。

[0028] これにより、抵抗層の材料や成分を変えることにより、活性層に注入されるキャリアの密度分布を、活性層内での光強度分布に応じてより精密に調整することができる。

[0029] 本発明の請求項6に記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、該活性層で発生した光をレーザ発振が生ずるよう増幅する共振器は、前記半導体層積層体に含まれる反射層と、該反射層と対向するよう該半導体層積層体から離間して配置した外部ミラーとからなる、ことを特徴とするものである。

[0030] これにより、面発光レーザにおける共振器長を大きくすることができ、共振器内の横モードがマルチモード化するのを抑えつつ、ビーム断面積を大きくすることができ、面発光レーザの高出力特性を飛躍的に向上させることができる。

[0031] 本発明の請求項7に記載の面発光レーザは、請求項6記載の面発光レーザにおいて、前記外部ミラーは、その両面を凹面形状とした一部透過ミラーである、ことを特徴とするものである。

[0032] これにより、面発光レーザから面発光させるレーザ光の広がり角が大きくなり、面発光レーザを光ファイバなどに結合する光学系には、口径が大きく焦点距離の短い汎用タイプのレンズを用いることが可能となり、該光学系を、安価でしかも光路長の短い

コンパクトなものとすることができる。

[0033] 本発明の請求項8に記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、該半導体層積層体は、前記活性層の近傍に配置され、該活性層内の過飽和キャリアを吸収する過飽和吸収体を含む、ことを特徴とするものである。

[0034] これにより、面発光レーザの発振状態を、過飽和キャリアを吸収する現象を利用した自励発振状態、つまり直流電流を流しているにもかかわらず、パルス状にレーザ光を放出する発振状態にすることができ、スペックルノイズを低減することができる。

[0035] 本発明の請求項9記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、面発光されたレーザ光の発振波長が、430〜455nmの範囲内の波長である、ことを特徴とするものである。

[0036] これにより、必要パワーの低減による低消費電力化と、高い色再現性とを実現した青色面発光レーザを得ることができる。

[0037] 本発明の請求項10記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、面発光されたレーザ光の発振波長が、630〜650nmの範囲内の波長である、ことを特徴とするものである。

これにより、高出力化を実現した赤色面発光レーザを得ることができる。

[0038] 本発明の請求項11記載の面発光レーザは、請求項1記載の面発光レーザにおいて、面発光されたレーザ光の発振波長が、510〜550nmの範囲内の波長である、ことを特徴とするものである。

これにより、高い信頼性を備えた緑色面発光レーザを実現することができる。

[0039] 本発明の請求項12に記載の面発光レーザは、請求項6記載の面発光レーザにおいて、前記外部ミラーと前記活性層との間に配置された、レーザ光の波長を変換する非線形光学材料を有する、ことを特徴とするものである。

これにより、短波長光を発生可能な高出力のレーザ光源を実現することができる。

[0040] 本発明の請求項13記載の面発光レーザは、請求項1に記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板の表面上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を

含む半導体層積層体を有し、前記半導体基板は、その裏面の一部を前記活性層の表面近傍までエッチングして凹部を形成したものである、ことを特徴とするものである。

[0041] これにより半導体基板内でのレーザ光の吸収を低減することができ、高出力化を図ることができる。

[0042] 本発明の請求項14記載の半導体レーザ装置は、レーザ光を出力する半導体レーザと、該半導体レーザからのレーザ光を波長変換する波長変換素子とを備えた半導体レーザ装置であって、前記半導体レーザは、請求項1記載の面発光レーザである、ことを特徴とするものである。

[0043] これにより、前記面発光レーザからのレーザ光を波長変換して出力する、短波長光を発生可能な高出力の半導体レーザ装置を実現することができる。

[0044] 本発明の請求項15記載のレーザモジュールは、複数の半導体レーザを一つのパッケージ内に集積化してなるレーザモジュールであって、前記各半導体レーザは、請求項1記載の面発光レーザである、ことを特徴とするものである。

[0045] これにより、RGB光源などの多波長光源を実現することができ、さらにこのような多波長光源と集光光学系を用いることで超小型のレーザ照射装置を実現することができる。

[0046] 本発明の請求項16記載のレーザモジュールは、請求項15記載のレーザモジュールにおいて、前記複数の半導体レーザは、前記各半導体レーザが、中心が前記パッケージの中心と一致した正多角形の頂点に位置するよう配置されている、ことを特徴とするものである。

[0047] これにより、パッケージ構造を単純化して低コスト化を図ることができるとともに、レーザモジュールの高出力化と長寿命化を実現することができる。

[0048] 本発明の請求項17記載のレーザ投射装置は、レーザ光を出力する半導体レーザと、該半導体レーザから出力されたレーザ光を投射する投射光学系とを備えたレーザ投射装置であって、上記半導体レーザは、請求項1記載の面発光レーザである、ことを特徴とするものである。

[0049] これにより、高出力時の横モード安定性が大幅に増大した、高出力化が可能な超

小型のレーザ投射装置を実現することができる。

[0050] 本発明の請求項18記載のレーザ投射装置は、請求項17記載のレーザ投射装置において、前記面発光レーザは、縦モードスペクトルがマルチモードであるレーザ光を出射する、ことを特徴とするものである。

[0051] これにより、レーザ光のコヒーレント性が低減することとなり、スペックルノイズの低減を図ることができる。

[0052] 本発明の請求項19記載のレーザ投射装置は、請求項17記載のレーザ投射装置において、前記面発光レーザは、縦モードスペクトルの実質的な幅が1nm以上広がったレーザ光を出射する、ことを特徴とするものである。

[0053] これにより、スペックルノイズを大幅に低減したレーザ投射装置を実現することができる。

[0054] 本発明の請求項20記載の面発光レーザは、レーザ光の面発光を行う面発光レーザであって、半導体基板上に形成された活性層と、前記活性層にキャリアを注入する一対の電極とを有し、前記一対の電極の一方は、複数の電極部分に分割したものであり、該複数の電極部の少なくとも一つには、高周波成分を重畳したレーザ駆動電圧を印加する、ことを特徴とするものである。

[0055] これにより、各電極部に印加する駆動電圧により、各電極部から活性層に注入されるキャリアの密度を調整することが可能となり、面発光レーザ活性層内での光強度分布に拘わらず、活性層内でのキャリア密度を均一にして、高出力時の横モード安定性が大幅に増大した、優れた高出力特性を有する面発光レーザを実現することができる。また、電極部に高周波成分を重畳したレーザ駆動電圧を印加するので、レーザ発振の状態が変化してレーザ光の時間的なコヒーレント性が低下することとなり、これにより戻り光によるノイズを低減することができる。

[0056] 本発明の請求項21に記載の面発光レーザは、請求項20記載の面発光レーザにおいて、前記分割された複数の電極部分は、レーザ光の発光中心の周りに実質的に均一に配置されている、ことを特徴とするものである。

[0057] これにより、発光中心からの距離が等しい電極部に同じレベルの駆動電圧を印加することにより、簡単に、光強度分布の異なる活性層内でのキャリア密度を均一にす

ることが可能となる。

- [0058] 本発明の請求項22記載の面発光レーザは、請求項20記載の面発光レーザにおいて、前記各電極部分から活性層への電流の注入を、該活性層の発光中心に近い領域ほど電流密度が高くなるよう行う、ことを特徴とするものである。
- [0059] これにより、光強度のピークが発光中心に位置する光強度分布を有する活性層で、光強度分布に適した注入キャリアの密度分布を実現することができる。
- [0060] 本発明の請求項23記載の面発光レーザは、請求項20記載の面発光レーザにおいて、前記複数の電極部分の少なくとも一つに、変調されたレーザ駆動電圧を印加する、ことを特徴とするものである。
- [0061] これにより、発振波長が変動するチャープング現象を緩和しつつ、コヒーレント性の低下によりスペckルノイズを抑えることができる。
- [0062] 本発明の請求項24記載の面発光レーザは、請求項20記載の面発光レーザにおいて、前記各電極部分が形成する各半導体レーザ部を、異なる注入電流で駆動する、ことを特徴とするものである。
- [0063] これにより、各半導体レーザに対応する活性層では、光強度分布に対応したキャリア注入密度を実現することが可能となり、面発光レーザの高出力化を、空間的なホールバーニングを抑えつつ図ることができる。
- [0064] 本発明の請求項25に記載の面発光レーザは、請求項20記載の面発光レーザにおいて、前記半導体基板の表面上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、前記半導体基板は、その裏面の一部を前記活性層の表面近傍までエッチングして凹部を形成したものである、ことを特徴とするものである。
- [0065] これにより半導体基板内でのレーザ光の吸収を低減することができ、高出力化を図ることができる。

発明の効果

- [0066] 本発明によれば、面発光レーザにおいて、面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることにより、活性層の、電極周辺部に対応する領域での電流密度の増大によるホールバーニング

の発生を回避して、高出力時の横モード安定性を大幅に増大させて高出力特性の向上を図ることができる。

- [0067] この結果、安定した横モードでレーザ発振を行うことができ、しかも活性層への電流注入を効率よく行うことができる高出力の面発光レーザ、並びにこのような高出力の面発光レーザを光源として用いたレーザ投射装置を得ることができる。

図面の簡単な説明

- [0068] [図1]図1は本発明の実施の形態1による面発光レーザを説明する図であり、その断面構造(図(a))、下部電極の形状(図(b))、および、活性層の発光領域での光強度分布(図(c))を示している。
- [図2]図2は上記実施の形態1の面発光レーザにおける下部電極形状の他の例(図(a)、図(b))を示す図である。
- [図3]図3は上記実施の形態1の面発光レーザにおける下部電極構造の他の例(図(a)、図(b))を示す図である。
- [図4]図4は本発明の実施の形態2による面発光レーザを説明する図であり、その断面構造(図(a))、下部電極の形状(図(b))、および、活性層の発光領域での光強度分布(図(c))を示している。
- [図5]図5は上記実施の形態2の面発光レーザの応用例を説明する平面図(図(a))及び断面図(図(b))である。
- [図6]図6は本発明の実施の形態3によるレーザ投射装置を説明する図である。
- [図7]図7は本発明の実施の形態4による面発光レーザを説明する図である。
- [図8]図8は本発明の実施の形態5によるレーザモジュールの一例を説明する側面図(図(a))及び平面図(図(b))である。
- [図9]図9は上記実施の形態5に係る面発光レーザの変形例を説明する側面図(図(a))及び平面図(図(b))である。
- [図10]図10は本発明の実施の形態6による半導体レーザ装置を説明する図である。
- [図11]図11は上記実施の形態6による半導体レーザ装置の変形例を説明する図である。
- [図12]図12は本発明の実施の形態7によるレーザ投射装置に必要な波長と出力の

関係を示す図である。

[図13]図13は上記実施の形態7のレーザ投射装置の出力波長を説明する図であり、青色光源波長と必要な出力との関係を示している。

[図14]図14は従来の面発光レーザの一例を示す図である。

符号の説明

- [0069] 1, 10, 21 外部ミラー
2, 2a, 22 半導体基板
3, 23 活性層
4, 24 DBR層
5, 25 上部電極
6, 6a, 6b, 26, 60, 600 下部電極
7a, 7b, 7c, 7d 微細穴
8 レーザ光
9, 29 凹部
11 絶縁膜
11a, 11b, 11c, 12a, 12b 穴
26a, 60a 内側電極部
26b, 60b 外側電極部
61 抵抗分離部
62 絶縁分離層
62a 分離層
100a, 100b, 100d、200 面発光レーザ
101, 106 赤色面発光レーザ
101a, 102a, 103a, 104a, 105a, 106a, 107a リード端子
102, 104, 105 緑色面発光レーザ
103, 107 青色面発光レーザ
110 半導体層積層体
120, 160, 160a 半導体レーザ装置

130, 170 レーザ投影装置

132 レンズ

133 空間変調器

134 投影レンズ

135, 173 スクリーン

150, 150a レーザモジュール

151 ベース部材

161, 161a 波長変換素子

172 投影光学系

発明を実施するための最良の形態

[0070] 以下、図面を参照して本発明に係る実施形態を詳細に説明する。

[0071] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1による面発光レーザを説明する図であり、図1(a)はその断面構造を、図1(b)はその下部電極の形状を示し、図1(c)は、活性層の発光領域での光強度分布を示している。なお、図1中、図14と同一符号は、従来の面発光レーザにおけるものと同一のものである。

[0072] この実施の形態1の面発光レーザ100aは、半導体基板2aの表面上に活性層3及び反射層4を積層してなる半導体層積層体110と、該反射層4上の所定領域に形成された下部電極6と、上記半導体基板2aの裏面側に形成された平面リング形状の上部電極5とを有している。

[0073] ここで、上記半導体基板はGa_{0.5}N_{0.5}を主成分とする窒素化合物からなり、上記活性層3はGa_{0.5}N_{0.5}を主体とする窒化物半導体からなる。上記反射層4は、上記活性層3上に屈折率の異なる材料4a及び4bを交互に積層してなる分散型ブラック反射層(以下、DBR層という。)である。

[0074] そして、この実施の形態1の面発光レーザ100aでは、上記下部電極6は、正八角形の、その各辺を底辺とする二等辺三角形の領域を切り取って得られる星型形状を有している。従って、該下部電極6とDBR層4との接触する部分の面密度は、該下部電極6の中心部分で大きく、該下部電極6の周辺部分で小さくなっている。ここで、該

下部電極6は、その中心が上記リング形状の上部電極5の中心と一致するよう配置されており、その最大幅が上記リング形状の上部電極5の内径より大きく、その外径より小さいものである。また、半導体基板2aの、上部電極5の内側に露出する部分は、活性層3の表面近傍までエッチングされており、他の部分に比べて薄くなっている。

[0075] また、この実施の形態1の面発光レーザ100aは、上記リング形状の上部電極5の上方に配置された外部ミラー1を有しており、該外部ミラー1と上記DBR層4とにより、活性層3で発生した光をレーザ発振が生ずるよう増幅する共振器が構成されている。ここで、外部ミラー1の、基板側の表面は凹面形状となっている。

[0076] 次に作用効果について説明する。

まず、本実施の形態1の面発光レーザ100aのレーザ発振動作について簡単に説明する。

[0077] この面発光レーザ100aでは、上部電極5と下部電極6との間にレーザ駆動電圧が印加されると、活性層3内に電流が注入される。この注入電流の大きさが一定値、つまりレーザ発振閾値より大きくなると、共振器内でレーザ発振が生じ、レーザ光8が外部ミラー1を介して外部に出射される。このとき、レーザ光8は、面発光され、レーザ光の出射方向は、半導体基板2aの表面に対して垂直な方向となっている。

[0078] 次に、本実施の形態1の面発光レーザの特性を、従来のものと比較して説明する。

[0079] 従来の面発光レーザでは、下部電極は、DBR層4上に円形の導電体層を形成してなる電極構造となっていた。このため、高いパワーを得るために注入電流を大きくすると、電極周辺部での電流密度が増大し、ホールバーニングの発生により、利得が低下したり横モードが不安定な状態となったりして、注入電流の増大が出力の低下や不安定な動作の原因となる。一方、電極の中心部近傍では、光のパワー密度の増大による注入キャリア不足が発生する。このように従来の面発光レーザでは、高出力時には横モードのマルチ化やモードの不安定化が生じ、安定した横モードを実現することが難しかった。

[0080] これに対して、本実施の形態1の面発光レーザ100aでは、下部電極6の形状を、図1(b)に示す星型形状としたことにより、活性層3に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光の強度分布に近づけることが可能となる。

- [0081] つまり、活性層3における光の強度分布は、図1(c)に示すように、光強度 L_p が発光中心で最も高く、周辺に行くに従い低下しており、光強度分布はガウス分布に近いものとなっている。従って、下部電極6の平面形状を、図1(b)に示す星型形状とすることにより、該下部電極6とDBR層4との接触する部分の面密度が、該下部電極の中心から周辺部にかけて減少する。言い換えると、下部電極6から活性層3に注入される電流(キャリア)の密度は、図1(c)に示すように、下部電極6の中心部分で最大となり、周辺部分に行くに従い低減することとなる。その結果、活性層3内に注入される電流の密度分布が活性層3内での光の強度分布に応じたものとなり、高出力時における横モード安定性を大幅に向上させた、優れた高出力特性を有する面発光レーザを実現することができる。
- [0082] また、従来、電極を複数に分割した構造として、注入キャリア密度の分布を調整可能とした面発光レーザが既に提案されている。ところが、面発光レーザの電極を分割すると、電極を分割する部分に位置する抵抗分離層により、活性層への注入電流にロスが生じて効率が低下してしまうという問題があった。また、このような分割された複数の電極では、注入キャリア密度分布を離散的にしか変化させることができないので、注入キャリアの密度分布と光強度分布との整合が十分ではない。さらに、分割された複数の電極には、個々の電極からは異なる電流密度で活性層に電流が注入されるようレーザ駆動電圧を印加することになるため、レーザの駆動回路が複雑になる等の問題があった。
- [0083] これに対して、本実施の形態1の面発光レーザ100aでは、下部電極6の平面形状を、下部電極6とDBR層4との接触する部分の面密度が、該下部電極6の中心部分で大きく、該下部電極6の周辺部分で小さくなるよう、星型形状としているので、注入キャリア密度分布を連続的に変化させることができ、さらに、従来の面発光レーザにおける、電極を分離する抵抗分離層を必要としないため、注入電流ロスが少なく、効率の良いレーザ発振が可能である。
- [0084] このように本実施の形態1では、半導体基板2a上に形成された活性層3と、前記活性層3にキャリアを注入する一対の上部電極5及び下部電極6とを有し、該下部電極6の平面形状を、該下部電極6から前記活性層3への電流の注入が、該下部電極6

の中心部分では高い電流密度で、その周辺部分では低い電流密度で行われるよう星型形状としたので、面発光レーザの活性層3に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。これにより、活性層の、電極周辺部に対応する領域での電流密度の増大によるホールバーニングの発生を回避して、高出力時の横モード安定性を大幅に増大した、優れた高出力特性を有する面発光レーザを実現することができる。

[0085] また、この実施の形態1では、半導体基板2aの、下部電極6に対向する領域を、活性層3の表面近傍までエッチングして薄くしているので、活性層3の、下部電極6に対向する部分で発生したレーザ光が半導体基板2aで吸収されるのを低減することができる。半導体基板2aの裏面側からレーザ光を効率よく取り出すことができる。

[0086] また、このように半導体基板2aの裏面側からレーザ光を取り出す構造では、活性層3上のDBR層4の表面上という、活性層に近い位置に熱伝導の高い金属電極層を形成することができる。さらに、面発光レーザを、上記のような金属電極層をヒートシンク上にこれに密着させて配置した構成にすることにより、活性層3で発生した熱を効率良く外部に逃がすことができ、その結果、活性層3での温度上昇を抑圧することができる。面発光レーザのさらなる高出力化が可能となる。

[0087] また、本実施の形態1では、面発光レーザ100aの共振器を、半導体基板2a上に形成したDBR層4と、半導体基板2aから離間して配置した外部ミラー1とにより構成しているため、共振器長を十分確保することができる。これにより、共振器の横モードの安定性を増大させて、下部電極6近傍の活性層3における光強度分布を大きくすることができる。

[0088] 例えば、活性層内での光強度分布の範囲は、共振器長にほぼ比例関係にあり、外部ミラー1を用いることにより共振器長を10倍以上にすることができ、これにより有効な活性層面積を大きくすることができる。その結果、面発光レーザでは、有効な活性層面積に比例して増大するものである高出力特性を、飛躍的に向上できる。

[0089] また、共振器を外部ミラーを用いて構成した、有効活性層面積の広い面発光レーザでは、活性層3における光強度分布と注入キャリア分布との整合性の問題が顕著となるが、本実施の形態1では、面発光レーザの下部電極6の平面形状を星型形状と

しているため、外部ミラー型の面発光レーザにおけるキャリア密度分布と光強度分布との不整合問題は解消されており、面発光レーザは高出力特性を大幅に改善したものとなっている。

[0090] また、本実施の形態1の面発光レーザでは、過飽和吸収を利用した自励発振状態、つまり半導体レーザへの印加電流は直流電流であるにもかかわらず、出力としてはパルス状にレーザ光を放出する発振状態により発振波長を変動させて、スペックルノイズを低減することが可能である。

[0091] つまり、本実施の形態1の面発光レーザでは、下部電極6の平面形状を、該下部電極6から前記活性層3への電流の注入が、該下部電極6の中心部分では高い電流密度で、その周辺部分では低い電流密度で行われるような形状としているので、活性層における、注入電流密度を小さくするようにしている下部電極6の周辺に対応する部分に、過飽和吸収体を設けることにより、高出力面発光レーザにて、過飽和吸収を利用した自励発振によりスペックルノイズを低減することが可能となる。

[0092] なお、本実施の形態1では、下部電極6の平面形状を、該下部電極6とDBR層4との接触する部分の面密度が、該下部電極6の中心部分からその周辺部分にかけて連続的に変化するよう、星型形状としたが、下部電極6の構造はこのような平面星型形状のものに限定されるものではない。

[0093] 例えば、下部電極6は、これとDBR層4との接触する部分の面密度が、該下部電極6の中心部とその周辺部とで異なるように、微細な穴を複数形成したものでよい。

図2は、このような微細な穴を形成した下部電極の構造の例を説明する図である。

[0094] 図2(a)に示す下部電極6aは、該電極を構成する単一の電極層に微細な穴を複数形成したものである。この下部電極6aでは、その中心部に形成した微細穴7aの径は、周辺部に形成した微細穴7cの径より小さい。また、下部電極6aの中心部と周辺部との間の中間部に形成した微細穴7bの径は、中心部に形成した微細穴7aの径より小さく、周辺部に形成した微細穴7cの径より大きい。

[0095] このように複数の微細穴を形成した下部電極6aは、上記実施の形態1の下部電極6と同様、該下部電極6aとDBR層4との接触する部分の面密度がその中心部に近いほど大きくなっており、これにより面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分

布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。

[0096] また、図2(b)に示す下部電極6bは、図2(a)に示す下部電極6aと同様、該電極を構成する単一の電極層に微細な穴を複数形成したものである。この下部電極6bでは、その周辺部に近いほど、微細穴7dの配置密度が大きくなっている。

[0097] このように複数の微細穴を形成した下部電極6bは、上記実施の形態1の下部電極6と同様、該下部電極6bとDBR層4との接触する部分の面密度がその中心部に近いほど大きくなっており、これにより面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。

[0098] この図2(a)に示す下部電極6a、あるいは図2(b)に示す下部電極6bは、下部電極を構成する金属層などを、マスクを用いた選択的なエッチング処理により簡単に形成することができる。

[0099] また、このような微細な穴を複数有する下部電極は、その配置可能な領域の全面に広がって形成することにより、ヒートシンクへの放熱効果を向上することができる。

[0100] また、本実施の形態1では、下部電極の平面形状により、活性層に注入される電流の密度分布を活性層内での光強度分布と整合するよう調整したものを示しているが、活性層に注入される電流の密度分布は、例えば、従来の面発光レーザにおける下部電極600とDBR層4との間に部分的に電流ストップ層を配置することにより調整してもよい。

図3は、このような電流ストップ層の具体的な例を説明する図である。

[0101] 図3(a)に示す電流ストップ層は、下部電極600とDBR層4との間に形成された、複数の穴を形成した絶縁層11からなる。

[0102] この絶縁層11には、下部電極600の中心部に対応する部分に大口径の穴11aが形成され、この大口径の穴11aの周囲に沿ってこれより口径の小さい中口径の穴11bが複数形成されており、さらに、この中口径の穴11bの外側に、口径のさらに小さい小口径の穴11cが複数形成されている。

[0103] このように複数の穴を形成した絶縁膜11を、下部電極600とDBR層4との間に配置することにより、上記実施の形態1と同様、該下部電極600とDBR層4との接触する部分の面密度がその中心部に近いほど大きくなり、これにより面発光レーザの活性

層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。

[0104] 図3(b)に示す電流ストップ層は、下部電極600とDBR層4との間に形成された、複数の穴を形成した絶縁層12からなる。

[0105] この絶縁層12には、上記下部電極の中心部に対応する部分に大口径の穴12aが形成され、この大口径の穴12aの外側には、口径の小さい複数の小口径の穴12bが、下部電極600の中心から遠ざかるほど、該穴12bの密度が小さくなるよう形成されている。

[0106] このように複数の穴を形成した絶縁膜12を、下部電極600とDBR層4との間に配置することにより、上記実施の形態1と同様、該下部電極600とDBR層4との接触する部分の面密度がその中心部に近いほど大きくなり、これにより面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。

[0107] また、図3(a)及び図3(b)に示すように、下部電極とDBR層との間に電流ストップ層を配置してなる電極構造は、下部電極の形成が簡単であり、また、下部電極の面積を大きくとれるため、下部電極が半田を介して外部のヒートシンクに接合する接触面積も大きくなる。従って、図3(a)あるいは図3(b)に示す、電流ストップ層を用いた電極構造は、放熱効果に優れ、高出力化に優位なものである。

[0108] さらに、図3(a)あるいは図3(b)に示す電極構造は、上記電流ストップ層に代わる、抵抗値の面内分布を持たせた抵抗層を有するものであってもよい。

[0109] この場合、電極構造における抵抗層の抵抗分布は、下部電極の中心から離れるほど、抵抗値が小さくなるものとする。これにより面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。

[0110] またさらに、上記下部電極とDBR層とを接続する電極構造は、上記電流ストップ層や抵抗層を有するものに限らず、下部電極自体に抵抗値の面内分布を持たせたものであってもよい。この場合、上記下部電極の抵抗分布は、その中心から離れるほど、抵抗値が小さくなるものとする。これにより面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることができる。

- [0111] また、本実施の形態1では、面発光レーザを構成する半導体基板は、GaNを主成分とする窒素化合物からなる半導体からなるものとしているが、面発光レーザの半導体基板は、例えば、SiC基板等、III-V族窒化物系半導体材料をその上にエピタキシャル成長できるものであってもよい。
- [0112] また、本発明の面発光レーザは、上述したIII-V族窒化物系半導体材料からなるものに限るものではない。例えば、面発光レーザの構成材料は、AlGaAs系やAlGaInP系半導体材料、あるいはZnSe系半導体材料であってもよく、このような半導体材料を用いた場合も、安定した基本横モードでレーザ発振する高出力面発光レーザを実現することができる。特に、AlGaInP系半導体材料は、基板面方位が(100)から[0-11]または[011]方向に傾斜したGaAs基板上に形成すれば、結晶の秩序化によるバンドギャップ変動も起こらないことから、AlGaInP系半導体材料を用いることにより、安定した高出力動作が可能な面発光レーザを実現することができる。
- [0113] また、本実施の形態1では、半導体基板2aの下部電極6に対向する領域を、その裏面側から、基板表面側の活性層3の近傍までエッチングして凹部9を形成し、該凹部9を囲むようリング形状の上部電極5を基板の裏面に形成しているが、上記上部電極5は、半導体基板2aの裏面側に形成したリング形状のものに限らず、例えば、凹部9の底面に形成した透明電極であってもよい。このような透明電極を用いると、活性層と上部電極とが近づくので、活性層内への注入電流のロスをより効果的に減らすことができる。
- [0114] また、本実施の形態1では、半導体基板2aの下部電極6に対向する領域を、その裏面側から、基板表面側の活性層3の近傍までエッチングして凹部9を形成しているが、上記面発光レーザの半導体基板の材料として、導電性が高く、レーザ光に対して透明なものを用いた場合は、上記凹部9は形成する必要はない。
- [0115] また、本実施の形態1では、面発光レーザとして、共振器を、半導体基板2a上に積層した複数の半導体層の1つであるDBR層4と、半導体基板2aから離間して配置した外部ミラー1とにより構成したものを示したが、面発光レーザは、半導体基板上に積層した半導体層により共振器を構成した、通常の薄膜面発光レーザであってもよく、この薄膜面発光レーザにおいても、上記実施の形態1と同様、下部電極6の平面形

状を、該下部電極6から前記活性層への電流の注入が、該下部電極の中心部分では高い電流密度で、その周辺部分では低い電流密度で行われるような形状とすることにより、高出力特性を飛躍的に向上させることが可能となる。

[0116] また、本実施の形態1では、面発光レーザは、1つの面発光部分を有する1つのレーザ素子であるが、1つのレーザ素子である面発光レーザは、複数の面発光部分を有するマルチビーム型の面発光レーザであってもよい。この場合、面発光レーザの各面発光部分における活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光のパワー分布に応じた分布とすることにより、各面発光部分での利得の飽和が緩和され、レーザ光の面発光を行うより大出力の半導体レーザを実現することができる。

[0117] (実施の形態2)

図4は、本発明の実施の形態2による面発光レーザを説明する図であり、図4(a)はその断面構造を、図4(b)はその下部電極の形状を示し、図4(c)は、活性層の発光領域での光強度分布を示している。なお、図4中、図1と同一符号は、実施の形態1の面発光レーザにおけるものと同一のものである。

[0118] この実施の形態2の面発光レーザ100bは、上記実施の形態1の面発光レーザ100aにおける、星型形状の下部電極6に代えて、2分割した下部電極60を備えたものである。また、この面発光レーザ100bでは、半導体基板2aの裏面側に形成された凹部9の表面には、共振器内における光のロスが低減するよう無反射コートが施されている。

[0119] ここで、上記下部電極60は、図4(b)に示すように、その中心部に位置する円形の内側電極部60aと、該内側電極部60aを囲むよう配置されたリング形状の外側電極部60bとからなる。また、この2分割された下部電極60の、上記外側電極部60bと内側電極部60aとの間の部分は、抵抗値の高い抵抗分離部61となっている。このように下部電極60を2分割した構造とすることで、活性層3内に注入する電流の密度分布を、活性層3内での光の強度分布に合わせて調整することが可能となる。

[0120] すなわち、活性層3における光の強度分布は、図4(c)に示すように、光強度 Cd_2 が発光領域の中心部、つまり活性層3の、下部電極に対向する領域の中心部で最も高く、中心から離れるほど低下するというガウス分布に近いものとなっている。従って、こ

の実施の形態2の面発光レーザ100bでは、活性層3に注入される電流の密度分布が光強度分布に対応したものとなるよう、内側電極部60aに印加するレーザ駆動電圧を、外側電極部60bに印加するレーザ駆動電圧より高くしている。また、この面発光レーザ100bでは、外側電極部60bに印加するレーザ駆動電圧は、発生するレーザ光のコヒーレンスが緩和されるよう、直流成分に高周波成分を重ねたものとしている。

[0121] 次に作用効果について説明する。

本実施の形態2の面発光レーザ100bの基本的なレーザ発振動作は実施の形態1の面発光レーザ100aと同様に行われる。

[0122] そして、この実施の形態2では、2分割された下部電極60の外側電極部60bには、高周波成分が重ねられたレーザ駆動電圧が印加されるため、活性層3の、外側電極部60bに対向する部分ではキャリア密度が変動する。このため、共振器全体でのレーザ発振状態が変動することとなり、時間的なコヒーレンスが緩和される。

次に、本実施の形態2の面発光レーザの特性を、従来のものと比較して説明する。

[0123] 従来の面発光レーザでは、上述したように、下部電極は単一の電極構造となっていたため、高出力時には横モードのマルチ化やモードの不安定化が生じ、安定した横モードを実現することが難しかった。

[0124] これに対して、本実施の形態2の面発光レーザ100bでは、下部電極60を、図4(b)に示すように2分割した構造としたことにより、活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光の強度分布に近づけることが可能となり、これにより高出力時における横モード安定性を大幅に向上させた、優れた高出力特性を有する面発光レーザを実現することができる。

[0125] また、本実施の形態2では、面発光レーザ100aの共振器を、半導体基板2a上に形成したDBR層4と、半導体基板2aから離間して配置した外部ミラー1とにより構成しているため、実施の形態1と同様、共振器長を十分確保することができる。これにより、共振器の横モードの安定性を増大させて、下部電極60近傍の活性層3における光分布を大きくすることができる。

[0126] また、共振器を外部ミラーを用いて構成した、有効活性層面積の広い面発光レー

ザでは、活性層3における光強度分布と注入キャリア分布との整合性の問題が顕著となるが、本実施の形態2では、面発光レーザの下部電極を2分割構造としているため、外部ミラー型の面発光レーザにおけるキャリア密度分布と光強度分布との不整合問題は解消されており、面発光レーザは高出力特性を大幅に改善したものとなっている。

[0127] さらに、下部電極を複数に分割した面発光レーザでも、有効活性層面積が小さいものでは、下部電極を分割したことによる注入キャリア密度分布の形成が難しく、分離された電極間の抵抗分離層の部分では注入電流ロスも問題となるが、本実施の形態2では、上述したように、外部ミラー1を用いることで活性層面積が十分大きなものとなっており、このため、抵抗分離層による注入電流ロスの問題も殆ど無視できるため、下部電極の2分割構造は有効なものとなっている。

[0128] また、本実施の形態2では、分割した個々の電極部に注入する電流の特性を変えることで、特性を大幅に改善している。特に、従来の面発光レーザでは、100mW以上の大出力で使用する場合に、安定に駆動する、レーザ光を変調する、あるいはレーザ駆動電流に高周波成分を重畳するといったことが困難であったが、これらの問題も本実施の形態2の面発光レーザでは解決されている。

[0129] ここで、本実施の形態2の面発光レーザにおける、戻り光によるノイズ発生が防止されるメカニズムについて説明する。

[0130] 戻り光ノイズとは、半導体レーザが出射した光が活性層に帰還することでノイズが大幅に増大する現象である。これを防止するため、通常、光のコヒーレンスを低減する方法が採られている。その一つとして、駆動電流に数100MHz程度のRF信号を重畳する方法がある。しかしながら、従来の高出力半導体レーザでは、駆動電流が増大するため、必要なRFパワーが大幅に増大するという問題があった。そして、このようなRFパワーの増大は、消費電力の増大、さらに放熱対策や放射対策等の必要性から、システム全体のコストが大幅に増大することとなる。

[0131] 本実施の形態2の面発光レーザ100bは、このような高出力レーザにおける高周波重畳の問題を解決したものである。

[0132] つまり、高周波重畳は、半導体レーザのキャリア密度の状態を変化させることで、光

の発振状態を時間的に変化させ、時間的コヒーレンスを低下させるものである。従って、活性層に注入されるキャリアの密度に対する変化率の大きさが重要である。

[0133] 従来の単一電極構造の面発光レーザでは、注入される電流は電極全体に分散するため、注入キャリア密度を大きく変化させるには、注入する電流に対して、高周波で変化させる電流の割合を大きくとる必要があり、レーザ駆動電流に重畳する高周波成分のRF振幅が大きくなっていた。

[0134] これに対して、本実施の形態2の面発光レーザ100bでは、下部電極60を複数の電極部に分割し、一部の電極部にのみRF重畳するようにしている。このような構成の面発光レーザ100bでは、下部電極を複数に分割しているため、各電極部による注入電流は、下部電極全体による注入電流に比べて大幅に低下する。つまり、下部電極の分割により得られる複数の電極部の一部にRF信号を重畳する場合のRF振幅は、単一の下部電極にRF信号を重畳する場合のRF振幅に対して何分の1かに低減可能となり、これにより高周波重畳のパワーを大幅に低減できる。また、一部の電極部にRF信号を重畳した場合にも、該電極部による注入キャリアの密度の変動は十分得られるため、共振器全体の発振状態が変化して時間的コヒーレンスを下げることができる。

[0135] さらに、本実施の形態2の面発光レーザ100bでは、図4(c)の光の強度分布図に示すように、高出力を得る場合、発光領域の中心近傍に位置する電極部60aに大きな電流を供給する必要があるが、発光領域の中心から離れた周辺部の電極部60bでは、光のパワー密度に応じた小さい電流しか必要とされない。このため、発光領域の周辺部近傍に位置する電極部に供給するレーザ駆動電流にRF信号を重畳することにより、低いRFパワーで効率良くコヒーレンスを低下させることができ、その結果、システムの小型化、低コスト化、低消費電力化が可能となる。

[0136] また、本実施の形態2の、電極を分割した構造は、GaNレーザに特に有効であり、以下簡単に説明する。

[0137] GaN基板をベースとする半導体レーザは、緩和振動が大きく高周波重畳を行うと、スパイクノイズが発生する。これは、半導体レーザへ注入する電流を高周波信号で変調すると緩和振動により出力光波形がスパイク状に変化し、変調度の何倍も高いパ

ルス出力が発生する現象である。GaNレーザを用いた光ディスクシステムでは、光ディスクの再生時に戻り光によりレーザのノイズが増大するのを防止するため、レーザ駆動電流に高周波信号を重畳する。ところが、GaNレーザでは、再生時の平均パワーが低い状態でも、尖塔値の高いスパイク状の出力がでているため、これが原因となって、再生時に記録したデータが劣化する再生光劣化の問題が発生する。

[0138] これに対して、電極を複数に分割して一部の電極部に高周波信号を重畳する構成では、レーザの戻り光ノイズを低減した状態で、スパイク状出力の尖塔値を半分以下に大幅に低減できることが分かった。

[0139] 従って、本実施の形態2の、下部電極を複数に分割した面発光レーザ100bは、光ディスク装置等への応用に好ましい。

[0140] また、GaN系レーザ以外のレーザ、例えば、AlGaAs系半導体材料やAlGaInP系半導体材料を用いた半導体レーザであっても、電極を分割した構造として、レーザ駆動電流に高周波信号を効率よく重畳することは可能である。

[0141] さらに、本実施の形態2の、下部電極を複数に分割した構成は、面発光レーザの出力を変調する場合にも有効な役割を果たす。

[0142] 現在、半導体レーザの出力を変調する場合、レーザの駆動電流全体を変調する。ところが、半導体レーザの駆動電流全体を変化させると、消費電力の増大により半導体レーザの温度が変化して発振波長が変動するチャープ現象が発生する。例えば、光ディスク等のメディアに対する記録を行う場合、光源光を変調しながら記録を行うが、この際に、チャープにより光源光の波長が変動すると、色収差の影響で集光スポットの大きさが変化する。この現象は、光学系の分散特性が顕著になる短波長領域で特に顕著になる。

[0143] 本実施の形態2の面発光レーザ100bは、このようなチャープ現象を抑制する上で有効なものであり、下部電極を2つの電極部に分割した構造として、一方の電極部に注入する電流を変調することで、注入電流の変調に伴う、レーザ全体での注入電流の変動が小さくなり、チャープを小さく抑えることができる。

[0144] このように本実施の形態2では、下部電極60を内側電極部60aと外側電極部60bの2つに分割した構造とし、発光領域の中心から遠い外側電極部に高周波信号を重

畳したレーザ駆動電圧を印加するので、面発光レーザの活性層に注入するキャリアの密度分布を、活性層内での光の強度分布に応じた分布とすることができる。

[0145] 具体的には、従来の単一構造の電極を有する面発光レーザに比べて、同じ注入電流値であっても、発光中心部分により多くのキャリアを注入できるとともに、発光中心から遠い電極部から活性層に注入されるキャリア密度が極端に高くなる現象を緩和することができる。その結果、スロープ効率の向上により、注入キャリア密度の低減、および光出力の飽和レベルの向上を図ることができる。

[0146] さらに、本実施の形態2の面発光レーザにおける複数の分割された電極構造による高光出力化の効果は、しきい値キャリア密度が高く、微分利得の高い窒化ガリウム系の面発光レーザにおいて特に有効である。

[0147] なお、本実施の形態2では、下部電極60を2分割構造としたが、下部電極はさらに細かく分割した構造としてもよい。このとき、分割された複数の電極部分は、レーザ光の発光中心の周りに実質的に均一に配置されるようにする。これにより、簡単に光強度分布の異なる活性層内でのキャリア密度を均一にすることができ、また、より安定した単一横モード動作を高出力時に実現することができる。

[0148] また、本実施の形態2の面発光レーザは、上述したIII-V族窒化物系半導体材料からなるものに限るものではない。例えば、実施の形態2の面発光レーザの構成材料は、AlGaAs系やAlGaInP系半導体材料、あるいはZnSe系半導体材料であってもよく、このような半導体材料を用いた場合も、下部電極を複数の分割した構造により、安定した基本横モードでレーザ発振する高出力半導体レーザを実現することができる。

[0149] また、上記実施の形態1あるいは実施の形態2では、半導体基板上に形成された単一の面発光レーザについて説明したが、1つの半導体基板上には実施の形態1の面発光レーザ100aあるいは実施の形態2の面発光レーザ100bを複数形成してもよい。

[0150] 図5は、1つの半導体基板上に複数の面発光レーザを形成した半導体レーザ装置の具体例を示す図であり、図5(a)はその下部電極の形状を示し、図5(b)はVb-Vb断面図を示している。

- [0151] この半導体レーザ装置120は、図5(a)に示すように、1つの半導体基板22上に、実施の形態2の面発光レーザと同一の面発光レーザ120bを複数形成してなるものである。
- [0152] 具体的には、図5(b)に示すように、上記半導体基板22の表面には、活性層23及びDBR層24が積層されている。そして、半導体基板22の表面側には、DBR層24の表面側から基板内部に達する分離溝62aが形成され、該分離溝内には絶縁材料が埋め込まれ、抵抗分離領域62となっている。この分離溝62aは、縦方向及び横方向に複数形成されており、分離溝62aにより囲まれた領域上には、実施の形態2の下部電極と同様、2分割した下部電極26が配置されている。
- [0153] また、上記半導体基板22のもう一方の表面上には、該下部電極26に対向するようリング形状の上部電極25が形成され、該基板22の上部電極25の内側部分には、エッチングによる凹部29が形成されている。さらに、該上部電極25の上方には、外部ミラー21が配置されている。
- [0154] このように面発光レーザ120bを一つの基板内に複数形成し、該隣接する面発光レーザ120bの間を抵抗分離領域62で分離することにより、高出力化を図ることが可能となり、隣接する面発光レーザ120bの間での相互の影響は抵抗分離領域62により避けることができる。
- [0155] (実施の形態3)
- 図6は、本発明の実施の形態3によるレーザ投射装置を説明する概略構成図である。
- [0156] この実施の形態3のレーザ投影装置130は、レーザ光源131と、レーザ光源131から出たレーザ光を平行化するレンズ132と、平行化されたレーザ光を空間的に変調する空間変調器133と、変調されたレーザ光をスクリーン135上に投射する投影レンズ134とを有している。そして、本実施の形態3のレーザ投影装置130では、レーザ光源には、下部電極を複数に分割した実施の形態2の面発光レーザ100bと同一のものをを用いている。また、この実施の形態3のレーザ光源である面発光レーザでは、下部電極の、分割した複数の電極部の一部の電極部から活性層に注入する電流を変調し、さらに、上記複数の電極部の一部に注入する電流にRF信号を重畳するよう

にしている。特に、この実施の形態の面発光レーザでは、内側電極部と外側電極部には異なる周波数の高周波信号を重畳するようにしている。

[0157] 次に作用効果について説明する。

以下、まず、このようなレーザ投射装置の一種であるレーザディスプレイに応用される半導体レーザの構成について述べる。

[0158] レーザディスプレイは、RGBレーザ光を用いたディスプレイ装置であり、レーザ出力としては数100mWから数W以上の大出力が必要とされる。

[0159] そこで上記実施の形態1、2の面発光レーザを、上記実施の形態3のレーザ投影装置の一種であるレーザディスプレイに応用する場合について考える。

[0160] 上記実施の形態1、2の面発光レーザは、以下に示す特長を有する。

第1の特長は、高出力化が容易であり、安定した単一横モード発振を行うことができることである。

[0161] また、第2の特長は、ビーム形状が理想的な円形に近く、このため、整形光学系を必要とすることなく、単純な光学系でレーザディスプレイ用の集光ビームを実現することができる点である。特に、上記実施の形態2の面発光レーザ100bは、高出力の光変調を実行可能なものである。

[0162] このような出力特性を有する面発光レーザをレーザディスプレイに応用することは非常に有効であるが、レーザディスプレイ用の光源として用いるためには、上述の出力特性に加えて、次の特性が要求される。

[0163] まず、波長の安定性が要求される。特に、赤色レーザにおいては、視感度の波長変化が大きいので、 $\pm 1\text{nm}$ 以下に波長変化を抑える必要がある。

[0164] また、スペックルノイズを低減させるためには、コヒーレンスの低減が重要であり、波長スペクトル幅を数nmに拡大する必要がある。

[0165] 本実施の形態3では、上記2点の課題、つまり波長変化を抑制する点と、波長スペクトル幅を拡大する点は解決されたものとなっており、従来のものと比較しながら説明する。

[0166] まず、波長の安定化について述べる。

レーザ光により映像を投射する場合、レーザ出力強度を階調に合わせて変調する

必要がある。このとき問題となるのが、出力強度と共に、モードの安定性と波長変化である。つまり、レーザディスプレイでは、レーザ光を100mW以上から数mW以下の値にまで変調する必要があるが、この際、レーザ波長が出力強度と共に変化する。従って従来の高出力半導体レーザでは、高出力時と低出力時とでは、駆動電流が大きく異なることから、レーザの温度の差により発振波長が大きく異なるチャープングが発生してしまう。

[0167] これに対して、本実施の形態3のレーザ投影装置130のレーザ光源である面発光レーザは、図4に示すように下部電極を複数の電極部に分割し、一部の電極部から活性層に注入する電流を変調するようにしたことで、注入電流の変化を低減させることができ、波長変動の少ない、かつ安定した変調を行うことができる。また、この面発光レーザでは、横モードの安定化により、階調度の増大化を図ることができる。

[0168] 次に、スペックルノイズを低減させるための波長スペクトル幅の拡大について述べる。

レーザディスプレイ光源としては、高出力特性を必要とするため、平均出力を100mW以上に保った状態で高周波重畳を行うことが必要となる。

[0169] 従って、従来の半導体レーザでは、数100mAの電流を注入した状態で高周波重畳を行う必要があり、数100mAの電流振幅をもった高周波信号を印加するハイパワーの高周波回路が必要であった。しかしながら、非常に大きな消費電力が必要となるため、消費電力の低減化、および外部放射の低減化が問題となる。

[0170] これに対し、本実施の形態3のレーザ光源としての面発光レーザでは、分割した複数の電極部の一部に注入する電流にRF信号を重畳することにより、RF電流を低減することができるとともに、活性層の、発光領域の中心から離れた部分では、電流密度を低減でき、これにより注入電流を低減することができる。その結果、注入電流に依存する、重畳するRF信号の振幅を大幅に低減することが可能となり、システムの簡易化、小型化、低消費電力化を実現することができる。

[0171] 次に、コヒーレンスのさらなる低減によるスペックルノイズの防止について説明する。

コヒーレンスの低下は、スペクトル幅の拡大に比例するため、スペクトル幅を大きく広げると、よりスペックルノイズを低減することができる。これを実現するためには、半

導体レーザの駆動電流に重畳する高周波電流のパワーを増大することが有効であるが、該重畳する高周波電流のパワー増大によるスペクトル幅の拡大は、波長で数nm程度に限られる。

[0172] そこで、本実施の形態3のレーザ光源としての面発光レーザでは、スペクトル幅がさらに拡大するよう、分割した内側電極部と外側電極部には異なる周波数の高周波信号を印加するようにしている。

[0173] 例えば、内側電極部と外側電極部の一方に、500MHzの高周波信号を印加し、その他方に400MHzの高周波信号を印加すると、各電極部からの注入電流による発振状態の相対的な乱れが大きくなり、スペクトル幅の広がりが大きくなる。このとき、スペクトル幅の増大は周波数依存性があるが、スペクトル幅の増大量を、一つの電極に高周波信号を印加する場合に比べて、1.2〜1.5倍に高めることができる。

[0174] 本実施の形態3のレーザ投射装置130で用いる、実施の形態2の面発光レーザの分割電極構造は、100mW以上の高出力光のコヒーレンス低減に特に有効である。

[0175] また、本実施の形態3のレーザ投射装置で用いる面発光レーザでは、過飽和吸収を利用した自励発振により発振波長を変動させて、スペックルノイズを低減することが可能である。なお、自励発振は、半導体レーザに直流電流を流しているにもかかわらず、パルス状にレーザ光を放出している発振状態である。

[0176] つまり、自励発振は過飽和吸収を利用するため、高出力半導体レーザに適用することは難しかったが、この実施の形態3のレーザ投射装置で用いる面発光レーザは、下部電極を内側電極部と外側電極部とに2分割した構造となっているため、活性層における、注入電流密度を小さくするようにしている下部電極の周辺に対応する部分に、過飽和吸収体を設けることにより、高出力面発光レーザにおいて、過飽和吸収を利用した自励発振によりスペックルノイズを低減することが可能となる。

[0177] このように本実施の形態3では、レーザ投射装置のレーザ光源として、実施の形態2と同様、下部電極を内側電極部と外側電極部に2分割した構造の面発光レーザを用いたので、活性層に注入される電流の密度を、活性層内の光強度分布に整合したものとしことができ、しかも活性層の、発光領域の中心から離れた部分では、電流密度を低減できるため、注入電流を低減することができる。

[0178] また、本実施の形態3では、分割した複数の電極の一部から活性層に注入する電流にRF信号を重畳することにより、RF電流を低減することができる。

その結果、レーザ投射装置の簡易化、小型化、低消費電力化を実現することができる。

[0179] (実施の形態4)

図7は、本発明の実施の形態4による面発光レーザを説明する図であり、面発光レーザの断面構造を示している。なお、図7中、図1と同一符号は、実施の形態1の面発光レーザにおけるものと同一のものである。

[0180] この実施の形態4の面発光レーザ100dは、上記実施の形態1の面発光レーザ100aにおける外部ミラー1に代えて、その両面を凹面形状とした外部ミラー10を備えたものである。

[0181] 次に作用効果について説明する。

面発光レーザは、出射光の広がり角が小さくファイバー等の光学系との結合が容易なものである。しかしながら、外部のレンズ等を用いたバルク光学系の小型化には、面発光レーザの、出射光の広がり角が小さいという特性は好ましくない。これは、面発光レーザからの出射光をレンズ系によりコリメートあるいは集光する場合、レンズの有効径まで光を広げるのに必要な距離が長くなってしまうからである。

[0182] これに対し、本実施の形態4の面発光レーザ100dは、図7に示すように、外部ミラー10の両面を凹面形状として、出射光8の広がり角を大きくしたものである。従って、この実施の形態4の面発光レーザ100dは、その出射光がレンズの有効径まで広がるのに必要な距離は短いものであり、バルク光学系の小型化に有効なものである。

[0183] (実施の形態5)

図8は、本発明の実施の形態5によるレーザモジュールの一例を示す図であり、図8(a)は側面図、図8(b)は平面図である。

[0184] この実施の形態5のレーザモジュール150は、レーザディスプレイへの応用を目的とした小型のRGB光源として有用なものである。

[0185] このレーザモジュール150は、パッケージに面発光レーザを実装してなるものであり、パッケージのベース部材151上に3つの面発光レーザ101〜103が取り付けられ

ている。該ベース部材151の裏面が放熱面となっており、また、このベース部材151の裏面側には、面発光レーザ101, 102, 103のリード端子101a, 102a, 103aが取り出されている。

[0186] ここで、各面発光レーザ101〜103は、実施の形態1ないし4のいずれかで説明した面発光レーザと同一の構成を有しており、面発光レーザ101は赤色面発光レーザ、面発光レーザ102は緑色面発光レーザ、面発光レーザ103は青色面発光レーザである。そして、上記ベース部材151上のこれら3つの面発光レーザは、パッケージの中心をその中心とする1つの円周上に等間隔で配置されている。

[0187] 次に作用効果について説明する。

小型のレーザディスプレイを実現するには、光源の小型化が必須である。これを実現するには、上記実施の形態1ないし4で説明した面発光レーザを光源として用いるのが有効である。

[0188] 上記実施の形態1ないし4で挙げた面発光レーザは、外部ミラーを有しているため、その高出力化が可能となる。また、これらの面発光レーザは、下部電極近傍に位置する活性層を有しているため、放熱特性に優れ、高出力を発生する上で有利なものである。また、面発光レーザは、基板側端面での光のパワー密度が低いため、端面劣化が無く、信頼性に優れている等の特徴を有する。特に、上記実施の形態2の面発光レーザは、電極分割構造により高出力特性を飛躍的に向上できることでも優位性が得られるものである。

[0189] さらに、面発光レーザは、モジュール化した多波長集積化光源を実現するのに有効である。具体的には、面発光レーザは、底面放熱、つまり、レーザ光の出射面とは反対側の面からの放熱ができるため、図8に示すように、異なる面発光レーザを単一パッケージに実装する場合、パッケージ構造が非常に単純となり低コスト化が図れる。また、レーザモジュールである多波長集積化光源では、放熱はパッケージ裏面から行うことができ、レーザ出力はパッケージ前面から取り出すことができる。

[0190] このように本実施の形態5では、上記いずれかの実施の形態で挙げた面発光レーザと同一構成を有する、赤色、緑色、及び青色の3つの面発光レーザ101, 102, 103をパッケージ内に実装してレーザモジュールを構成したので、小型の集積光源を得

ることが可能となり、その結果、超小型のレーザ照射装置を実現することができる。

- [0191] なお、上記実施の形態5では、面発光レーザをパッケージに実装してなるレーザモジュールとして、3波長のレーザ光を出力する多波長光源を示したが、多波長光源は、2つの波長を備えたものであっても、4つ以上の波長を備えたものであってもよい。
- [0192] また、上記レーザモジュールを構成する面発光レーザの個数や、パッケージ内での面発光レーザの配置は、上記実施の形態5のものに限るものではない。
- [0193] 図9は、上記実施の形態5のレーザモジュールにおける面発光レーザの個数や配置を変更したものを示す図であり、図9(a)は側面図、図9(b)は平面図である。
- [0194] 図9に示すレーザモジュール150aは、図8に示すレーザモジュール150と同様、RGB3波長のレーザ光源を実現したものである。
- [0195] このレーザモジュール150aは、パッケージに4つの面発光レーザを実装してなるものであり、パッケージのベース部材151の中央部には、2つの緑色面発光レーザ106及び107が、パッケージ中心を通る1つの軸線上に位置するよう、近接させて配置されている。また、パッケージ中心を通る、上記軸線と直交するもう1つの軸線上には、上記2つの緑色面発光レーザを挟むよう、赤色面発光レーザ104と青色面発光レーザ105とが配置されている。ここで、上記各面発光レーザは、実施の形態1ないし4のいずれかの面発光レーザと同一構成を有しており、ベース部材上での4つの面発光レーザの配置は、パッケージ中心に対して対称な配置となっている。
- [0196] なお、上記ベース部材151の裏面は放熱面となっており、また、このベース部材151の裏面側には、面発光レーザ104, 105, 106, 107のリード端子104a, 105a, 106a, 107aが取り出されている。
- [0197] このような赤色、緑色、青色の3波長レーザ光を発生するRGB光源としてのレーザモジュールでは、それぞれの色の面発光レーザの配置が重要である。つまり、面発光レーザによりRGB光源を実現する場合、特に高出力化が難しいのが緑色光源である。緑色光源は、通常ZnSeレーザ材料により実現されているが、高出力時に寿命が低下する。このため比較的 low 出力で使用する必要がある。
- [0198] そこで、図9に示すレーザモジュール150では、図9(b)に示すように、緑色面発光レーザ104及び105は2つ使用し、これらを近接させて配置するとともに、これらの緑色

面発光レーザの両側に赤色面発光レーザ106と青色面発光レーザ107を配置している。これによりレーザ光源の高出力化と長寿命化を実現することができる。

[0199] さらに、RGB光源である、図8に示す実施の形態5のレーザモジュール150や、レーザモジュール150における面発光レーザの個数や配置を変更したレーザモジュール150aは、液晶パネル、またはDLP(デジタル・ライト・プロセッシング)で用いるDM D(デジタル・マイクロミラー・デバイス)等の2次元空間変調素子と組み合わせることにより、RGB光源から出た光を2次元空間変調素子で変調し、その像を投射するレーザ照射装置を実現することができ、レーザディスプレイへ応用することができる。

[0200] (実施の形態6)

図10は本発明の実施の形態6による半導体レーザ装置を説明する図である。

[0201] この半導体レーザ装置160は、レーザ光を面発光する面発光レーザと、該面発光レーザの共振器内に配置され、該面発光レーザからのレーザ光を波長変換する波長変換素子161とを備えている。

[0202] ここで、面発光レーザは、実施の形態1の面発光レーザ100aと同一の構成となっている。但し、この半導体レーザ装置における面発光レーザは、実施の形態1の面発光レーザに限らず、実施の形態2ないし4のいずれかで説明した面発光レーザであってもよい。

[0203] また、上記波長変換素子161は、上記共振器を構成する外部ミラー1と、半導体基板2a上に形成された活性層3との間に配置された非線形光学結晶部材からなる。

[0204] ここで、非線形光学結晶材料としては、 KTiOPO_4 や分極反転 MgOLiNbO_3 が好ましい。特に、分極反転 MgOLiNbO_3 は、非線形定数が大きいため、波長変換素子の素子長を短くすることができ、外部ミラーとの距離が比較的短い共振器に挿入するには都合が良い。

[0205] 次に作用効果について説明する。

この実施の形態6の半導体レーザ装置160は、面発光レーザで発生されたレーザ光を、上記波長変換素子161により波長変換することにより、短波長のレーザ光を出力可能なものである。

[0206] 以下、本実施の形態の半導体レーザ装置160の特長について簡単に説明する。

- [0207] 波長変換素子は、一般に変換可能な波長許容度が狭いものであるため、レーザ発振する基本波の波長および横モードの安定性は波長変換効率に大きく影響する。また、通常の面発光レーザでは、横モードのシングルモード性が劣化または変化すると、変換効率が大幅に低下または変動するという問題点があった、
- [0208] これに対し、本実施の形態6の半導体レーザ装置では優れた安定性と高効率化が実現可能である。
- [0209] つまり、共振器内に波長変換素子を構成する非線形光学結晶部材を配置しているため、非線形光学結晶部材に入射する光のパワー密度が高くなり、波長変換素子での高効率変換が可能となる。
- [0210] なお、上記実施の形態6では、面発光レーザと波長変換素子とを組み合わせた半導体レーザ装置として、波長変換素子を面発光レーザの共振器内に配置したものを示したが、波長変換素子は、共振器の外部に配置してもよい。
- [0211] 図11は、上記実施の形態6の半導体レーザ装置における波長変換素子の配置を変更したものを示す図である。
- [0212] 図11に示す半導体レーザ装置160aは、波長変換素子161aを共振器の外部に配置したものであり、その他の構成は、上記実施の形態6の半導体レーザ160と同一である。
- [0213] また、図10及び図11に示す半導体レーザ装置における波長変換素子としては、導波路型の素子であっても、またはバルク型の素子であってもよい。
- [0214] 但し、波長変換素子における変換効率は基本波の集光特性に大きく依存するため、横モードのシングル化が重要である。従って、面発光レーザの出力光を波長変換して短波長光を出力する半導体レーザ装置は、上記実施の形態6で示したように、横モードを単一モードに制御可能であって、高出力の波長変換を実行可能とする必要がある。
- [0215] (実施の形態7)
- 図12は、本発明の実施の形態7によるレーザ投射装置を説明する概略構成図である。
- [0216] この実施の形態7のレーザ投影装置170は、レーザ光源171と、レーザ光源171か

ら出たレーザ光をスクリーン173上に投射する投影光学系172とを有している。そして、本実施の形態7のレーザ投影装置170では、レーザ光源として、実施の形態2の面発光レーザ100bと同一構成のものを用いている。但し、レーザ投影装置170のレーザ光源として用いる面発光レーザは、実施の形態2のものに限らず、その他の実施の形態で示したものでよい。

[0217] 以下、このようなレーザ投射装置の一種であるレーザディスプレイについて述べる。

[0218] レーザディスプレイは、RGB光源および投射光学系からなり、レーザ光源からの光を投射光学系によりスクリーン等へ投射することにより、フルカラーの映像を投射するものである。投影方式としては、外部のスクリーンや壁などの投射体に投射し、その反射光を見るタイプと、背面投射型としてスクリーンの背面から光を照射して反射光を見るタイプに分類されるが、いずれの場合にも、スクリーン等で散乱された光によって、色を認識している。

[0219] しかしながら、従来のレーザディスプレイにおいて、コヒーレンスの高い半導体レーザを利用する場合、スクリーンで散乱された光が干渉してスペックルノイズを発生するという問題が発生する。スペックルノイズを低減する有効な方法としては、レーザ光のコヒーレンスを低減する方法がある。レーザ光のコヒーレンス低減には、縦モードをマルチモード化するのが有効で、特に縦モードのスペクトル幅を拡大することで、スペックルノイズは大幅に低減することができる。

[0220] 本実施の形態7のレーザ投射装置のレーザ光源として用いる面発光レーザでは、上記実施の形態2で示したように、分割された複数の電極部の一部に高周波信号を重ねることで、スペクトル幅を拡大し、コヒーレンスを低減することが可能となる。スペックルノイズを低減するには、縦モードスペクトル幅を波長で1nm以上、さらに望ましくは5nm程度以上に拡大することが必要とされる。

[0221] また、異なる電極部に異なる周波数の高周波信号を印加する方法を利用することにより、縦モードスペクトル幅のさらなる拡大が可能となる。

[0222] レーザディスプレイに使用する波長と視感度の関係より、RGB光源の発振波長が重要になる。視感度の影響で、使用する波長と必要な光強度が決まる。また色度の影響で、波長と色再現性の広さが決定される。

- [0223] 図13に、青色光源の波長と必要な出力の関係を示す。ここでは、赤色の波長を640nm、緑色は532nmに固定したとき、スクリーン上で1000lmの明るさを実現するための、青色の波長と必要な出力の関係を示している。
- [0224] 青色光は、波長が430nm以下になると視感度が低下するため、必要パワーが急増する。また460nm以上になると緑色の領域に近づくため、表現可能な色範囲が狭くなると同時に青色を表現するための必要パワーが増大する。同時に赤色のパワーも増大する結果となる。
- [0225] 一方、GaN半導体による青色面発光レーザーは通常410nm近傍で高出力レーザーが実現されている。この波長を長波長側にシフトさせるにはInの添加量を増大させる必要があるが、Inの添加量を増大させるとInの偏析により結晶組成が悪くなり、信頼性、高出力特性が劣化する。従って、GaNを用いた青色レーザーでは波長を455nm以下に設定することが望まれる。色再現性の観点からも波長が短い青色光源を用いる方が青色領域において表現できる色の範囲が広がるため、好ましい。
- [0226] 以上の観点より、青色面発光レーザーの波長領域としては、430nm～455nmの領域が好ましい。さらに好ましくは、波長領域を440～450nmとすることが望まれる。この場合、必要パワーの低減による低消費電力化と、高い色再現性を実現できる。
- [0227] 赤色面発光レーザーはAlGaAs系半導体材料またはAlGaInP系半導体材料によって実現できる。しかしながら高出力化を実現するには、波長領域を630～650の領域とすることが好ましい。さらに、視感度および青色光の使用波長範囲を拡大する意味からも、波長領域は640nm±5nmの範囲が最も好ましい。
- [0228] 緑色面発光レーザーは、ZnSe系半導体材料により実現可能である。
- [0229] つまり、ファブリペロー型半導体レーザーにおいては導波路内の光パワー密度が高いため、ZnSe系半導体材料を用いた場合、信頼性を得るのが難しかった。しかしながら、緑色レーザーを、本発明の面発光レーザーの構成とすることで、結晶内での光パワー密度の低減が図れ、高信頼性が確保できる。緑色面発光レーザーの色バランスを考慮した波長領域としては、510～550nmの波長領域が必要である。但し、面発光レーザーの信頼性を考慮すると、波長領域は510～520nmの領域が望ましく、この領域において高い信頼性と高出力特性が実現できる。また、緑色面発光レーザーは、GaNにI

nを大量にドーピングした半導体材料でも実現可能である。この場合でも波長領域としては500～520nmの領域が望ましい。

産業上の利用可能性

[0230] 以上のように、本発明の面発光レーザは、発光領域での光パワー密度分布によって発生するホールバーニングを抑制して、横モードの不安定化や利得の低下といった高出力特性の劣化を低減できるものであり、高出力な半導体レーザを必要とする光記録装置、光ディスプレイ装置等の光源として有用であり、またその他、レーザ加工、医用等への応用にも有用なものである。

請求の範囲

- [1] レーザ光の面発光を行う面発光レーザであって、
半導体基板上に形成された活性層と、
前記活性層にキャリアを注入する一対の電極とを有し、
前記一対の電極は、その一方が1つの電極層からなり、該一方の電極から前記活性層への電流の注入を、該一方の電極の中心部分とその周辺部分とで異なる電流密度で行うものである、
ことを特徴とする面発光レーザ。
- [2] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、
前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、
前記電極層と前記半導体層積層体とが接触する面密度は、前記電極層の中心部分とその周辺部分とで異なる、
ことを特徴とする面発光レーザ。
- [3] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、
前記一方の電極は、これを構成する電極層に複数の微小穴を、前記微小穴の占有密度が該一方の電極の中心部分とその周辺部分とで異なるよう形成したものである、
ことを特徴とする面発光レーザ。
- [4] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、
前記一方の電極は、これを構成する電極層の抵抗値が該一方の電極の中心部分とその周辺部分とで異なる、
ことを特徴とする面発光レーザ。
- [5] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、
前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体と、
該半導体層積層体と、前記一方の電極を構成する電極層との間に形成された抵抗層とを有し、

前記抵抗層の抵抗値は、前記一方の電極の中心部に対応する部分とその周辺部に対応する部分とで異なる、

ことを特徴とする面発光レーザ。

[6] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、

前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、

該活性層で発生した光をレーザ発振が生ずるよう増幅する共振器は、前記半導体層積層体に含まれる反射層と、該反射層と対向するよう該半導体層積層体から離間して配置した外部ミラーとからなる、

ことを特徴とする面発光レーザ。

[7] 請求項6記載の面発光レーザにおいて、

前記外部ミラーは、その両面を凹面形状とした一部透過ミラーである、

ことを特徴とする面発光レーザ。

[8] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、

前記半導体基板上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、

該半導体層積層体は、前記活性層の近傍に配置され、該活性層内の過飽和キャリアを吸収する過飽和吸収体を含む、

ことを特徴とする面発光レーザ。

[9] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、

面発光されたレーザ光の発振波長が、430～455nmの範囲内の波長である、

ことを特徴とする面発光レーザ。

[10] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、

面発光されたレーザ光の発振波長が、630～650nmの範囲内の波長である、

ことを特徴とする面発光レーザ。

[11] 請求項1記載の面発光レーザにおいて、

面発光されたレーザ光の発振波長が、510～550nmの範囲内の波長である、

ことを特徴とする面発光レーザ。

- [12] 請求項6記載の面発光レーザにおいて、
前記外部ミラーと前記活性層との間に配置された、レーザ光の波長を変換する非線形光学材料を有する、
ことを特徴とする面発光レーザ。
- [13] 請求項1に記載の面発光レーザにおいて、
前記半導体基板の表面上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、
前記半導体基板は、その裏面の一部を前記活性層の表面近傍までエッチングして凹部を形成したものである、
ことを特徴とする面発光レーザ。
- [14] レーザ光を出力する半導体レーザと、該半導体レーザからのレーザ光を波長変換する波長変換素子とを備えた半導体レーザ装置であって、
前記半導体レーザは、請求項1記載の面発光レーザである、
ことを特徴とする半導体レーザ装置。
- [15] 複数の半導体レーザを一つのパッケージ内に集積化してなるレーザモジュールであって、
前記各半導体レーザは、請求項1記載の面発光レーザである、
ことを特徴とするレーザモジュール。
- [16] 請求項15記載のレーザモジュールにおいて、
前記複数の半導体レーザは、前記各半導体レーザが、中心が前記パッケージの中心と一致した正多角形の頂点に位置するよう配置されている、
ことを特徴とするレーザモジュール。
- [17] レーザ光を出力する半導体レーザと、該半導体レーザから出力されたレーザ光を投射する投射光学系とを備えたレーザ投射装置であって、
上記半導体レーザは、請求項1記載の面発光レーザである、
ことを特徴とするレーザ投射装置。
- [18] 請求項17記載のレーザ投射装置において、
前記面発光レーザは、縦モードスペクトルがマルチモードであるレーザ光を出射す

る、

ことを特徴とするレーザ投射装置。

- [19] 請求項17記載のレーザ投射装置において、
前記面発光レーザは、縦モードスペクトルの実質的な幅が1nm以上広がったレーザ光を出射する、

ことを特徴とするレーザ投射装置。

- [20] レーザ光の面発光を行う面発光レーザであって、
半導体基板上に形成された活性層と、
前記活性層にキャリアを注入する一対の電極とを有し、
前記一対の電極の一方は、複数の電極部分に分割したものであり、
該複数の電極部の少なくとも一つには、高周波成分を重畳したレーザ駆動電圧を印加する、

ことを特徴とする面発光レーザ。

- [21] 請求項20記載の面発光レーザにおいて、
前記分割された複数の電極部分は、レーザ光の発光中心の周りに実質的に均一に配置されている、

ことを特徴とする面発光レーザ。

- [22] 請求項20記載の面発光レーザにおいて、
前記各電極部分から活性層への電流の注入を、該活性層の発光中心に近い領域ほど電流密度が高くなるよう行う、

ことを特徴とする面発光レーザ。

- [23] 請求項20記載の面発光レーザにおいて、
前記複数の電極部分の少なくとも一つに、変調されたレーザ駆動電圧を印加する、
ことを特徴とする面発光レーザ。

- [24] 請求項20記載の面発光レーザにおいて、
前記各電極部分が形成する各半導体レーザ部を、異なる注入電流で駆動する、
ことを特徴とする面発光レーザ。

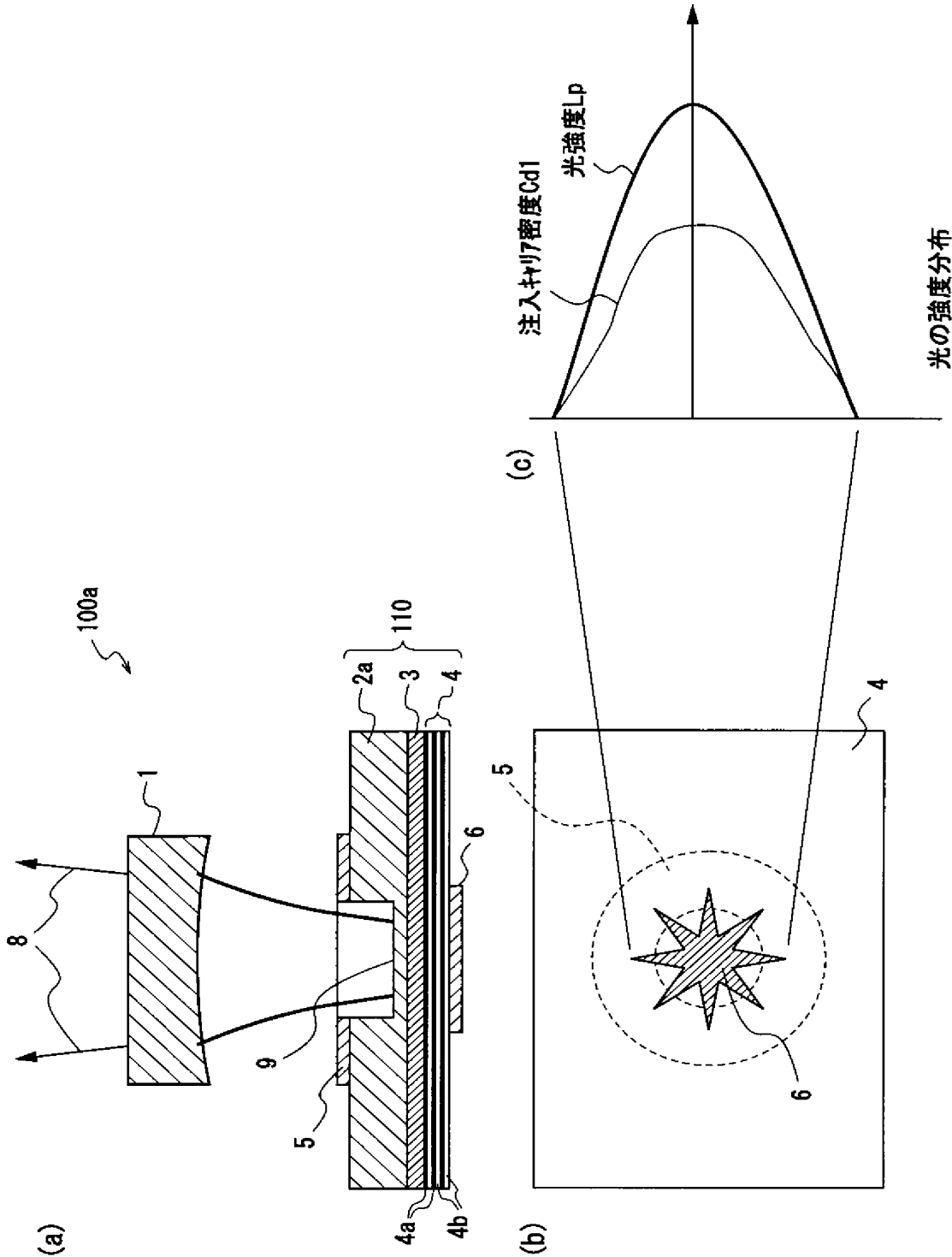
- [25] 請求項20に記載の面発光レーザにおいて、

前記半導体基板の表面上に複数の半導体層を積層してなる、前記活性層を含む半導体層積層体を有し、

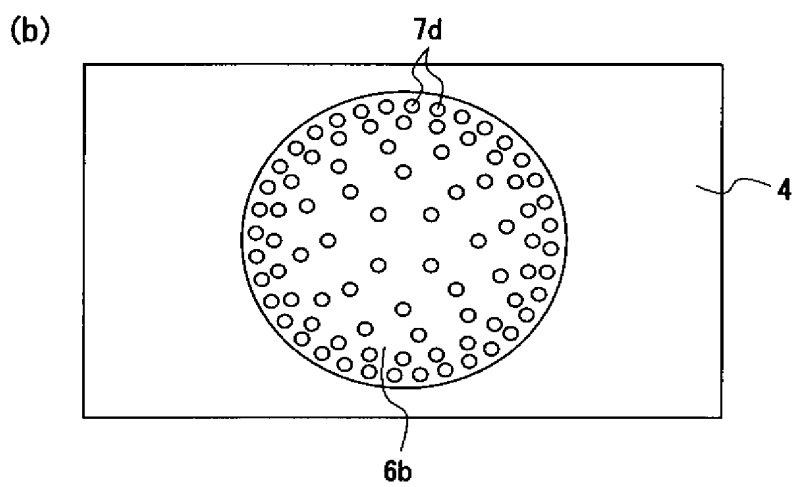
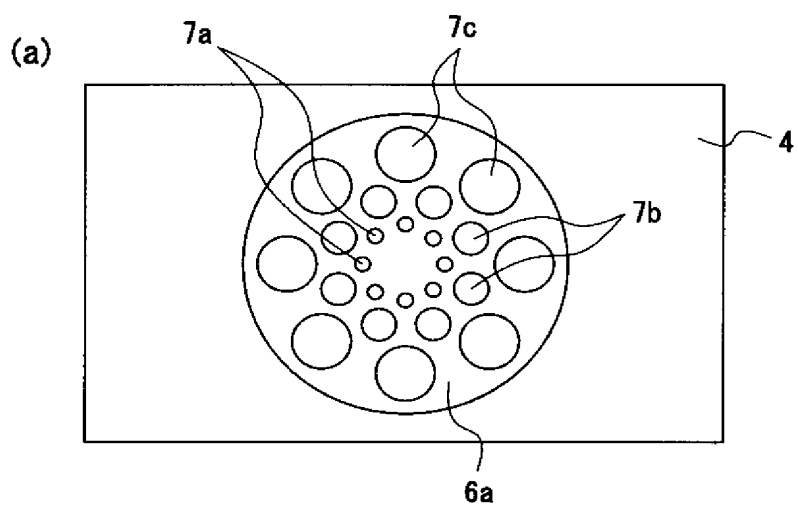
前記半導体基板は、その裏面の一部を前記活性層の表面近傍までエッチングして凹部を形成したものである、

ことを特徴とする面発光レーザ。

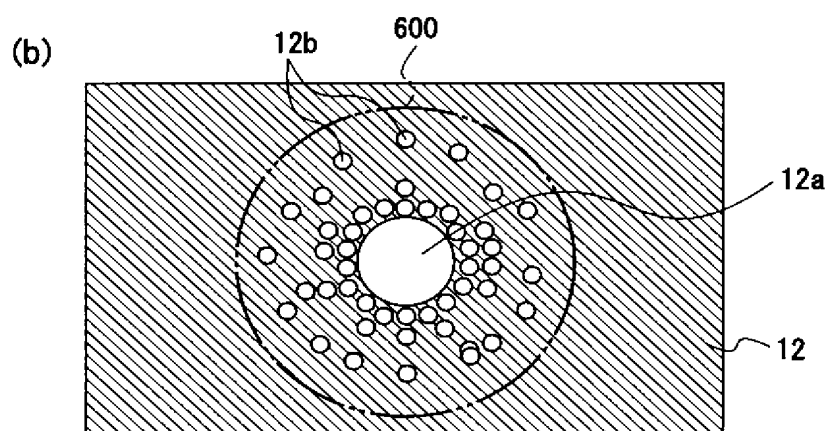
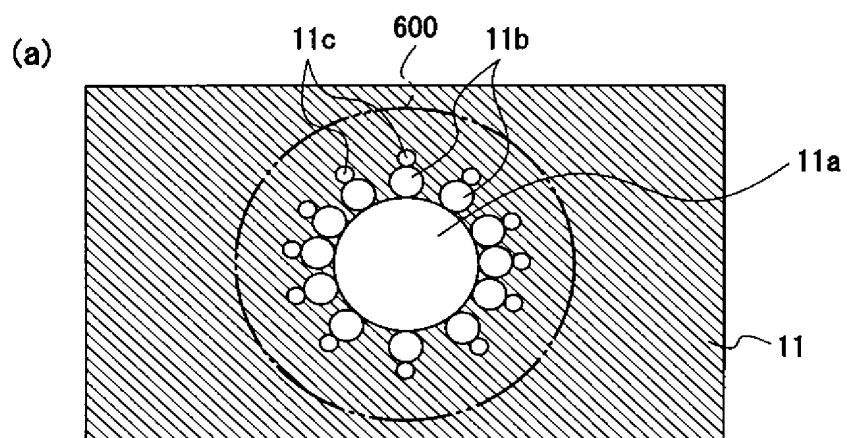
[図1]



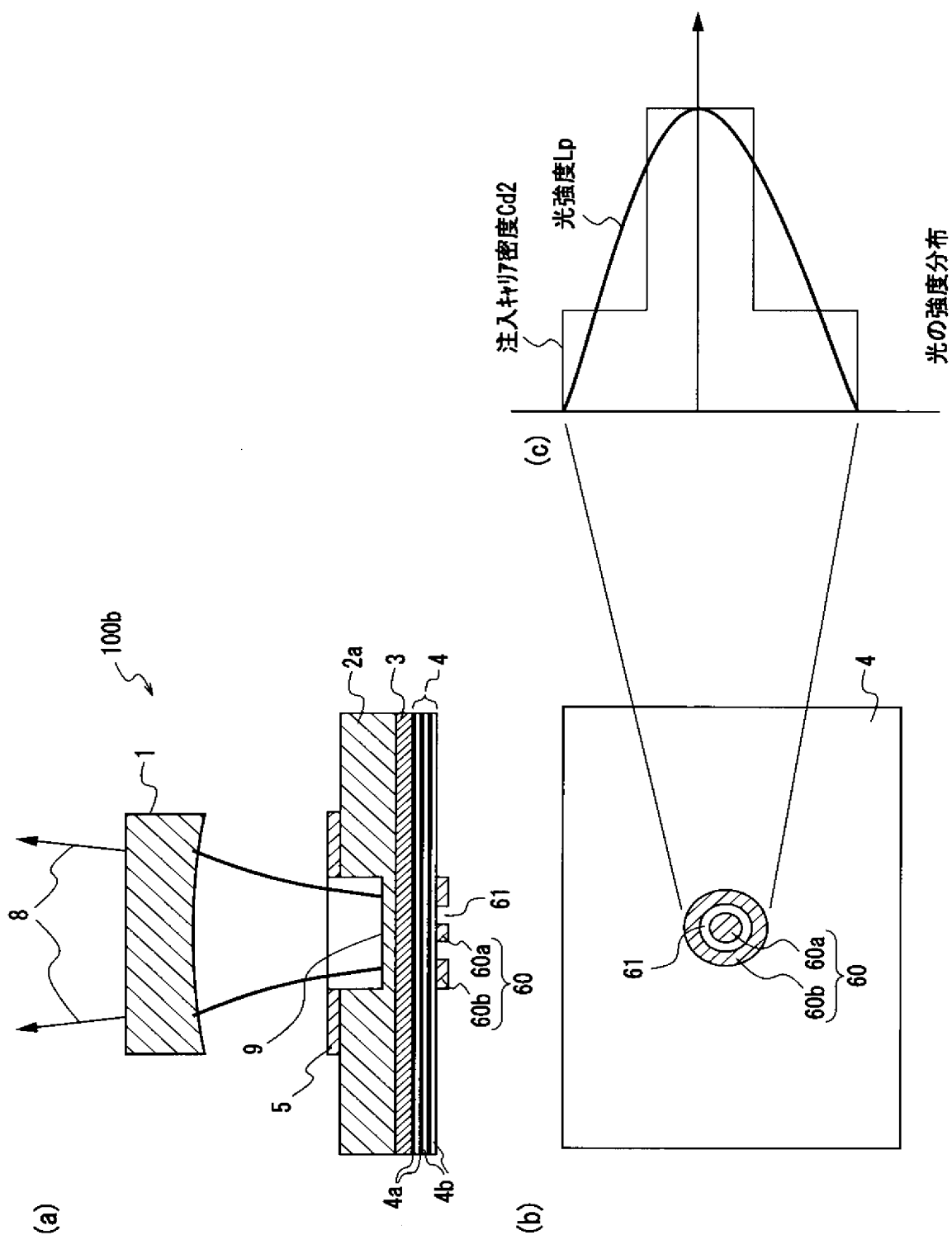
[[図2]]



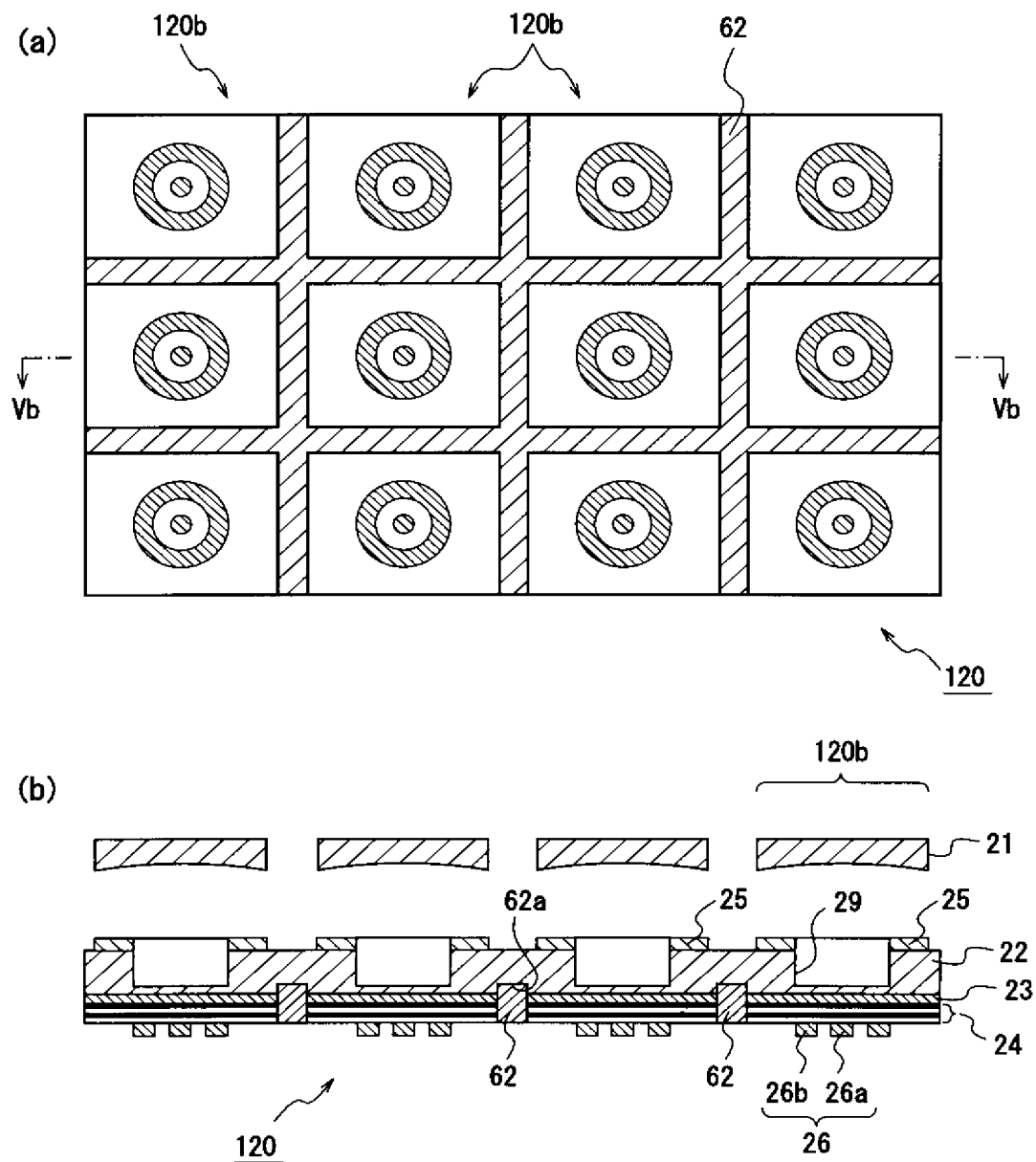
[図3]



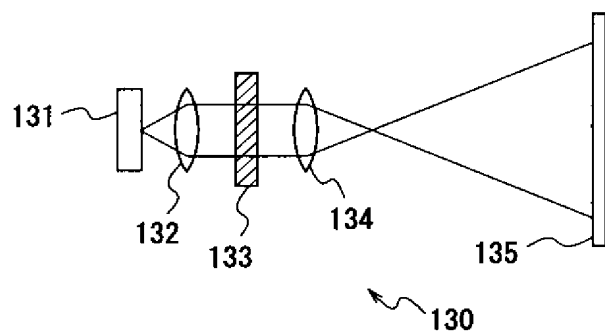
[図4]



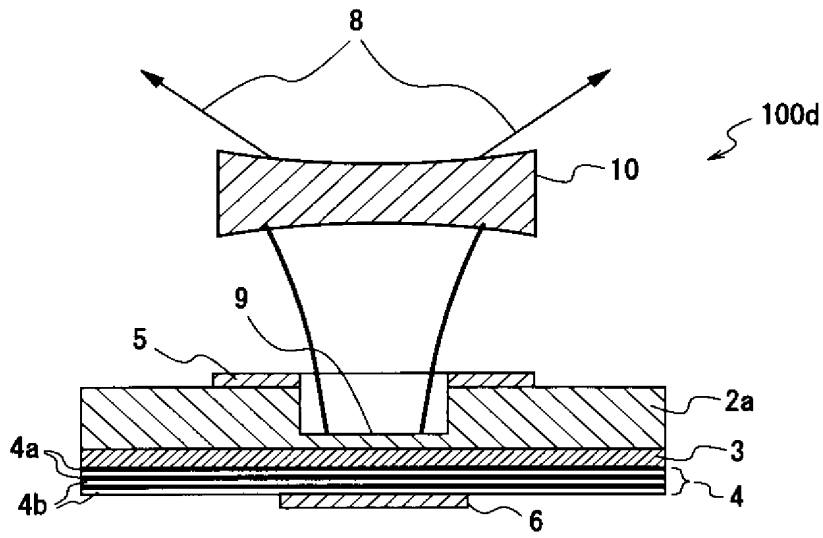
[図5]



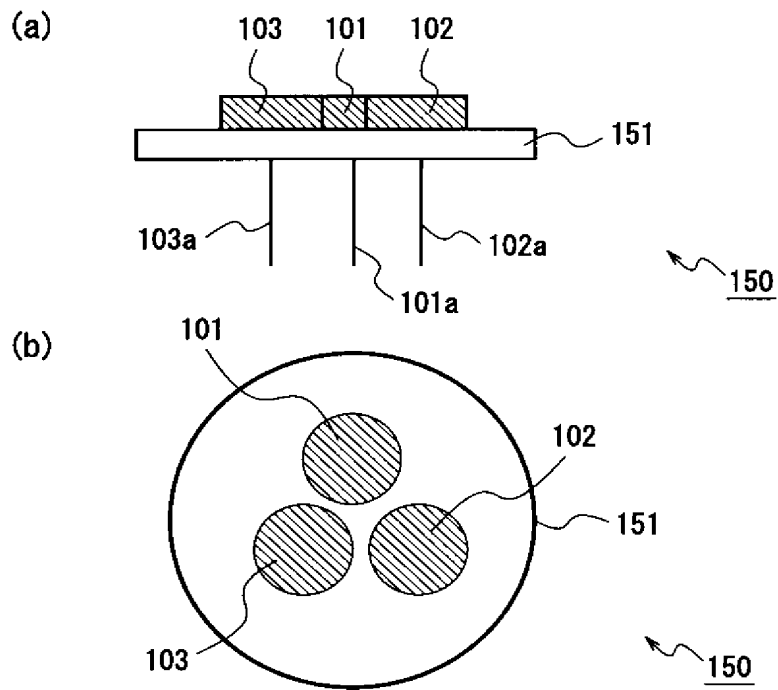
[図6]



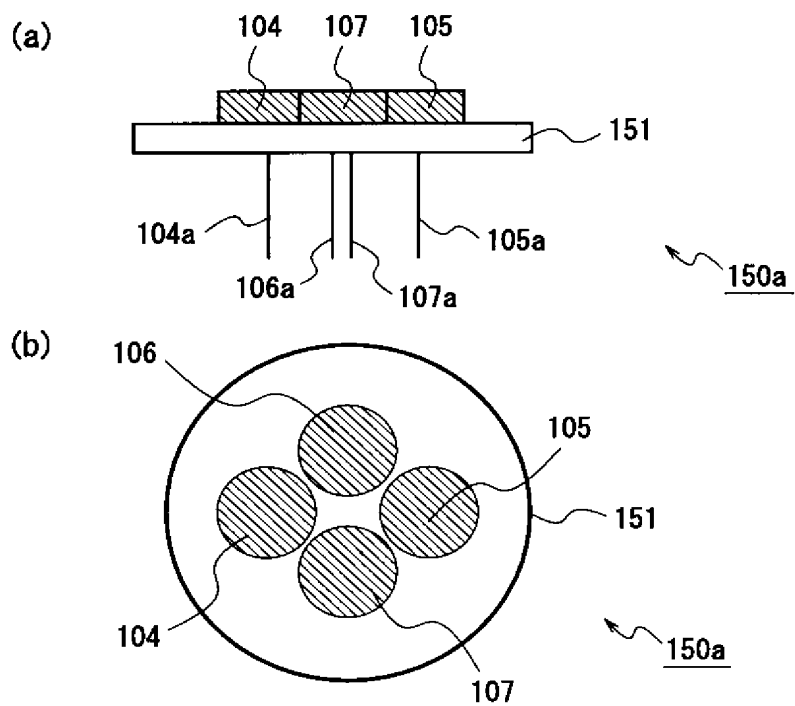
[図7]



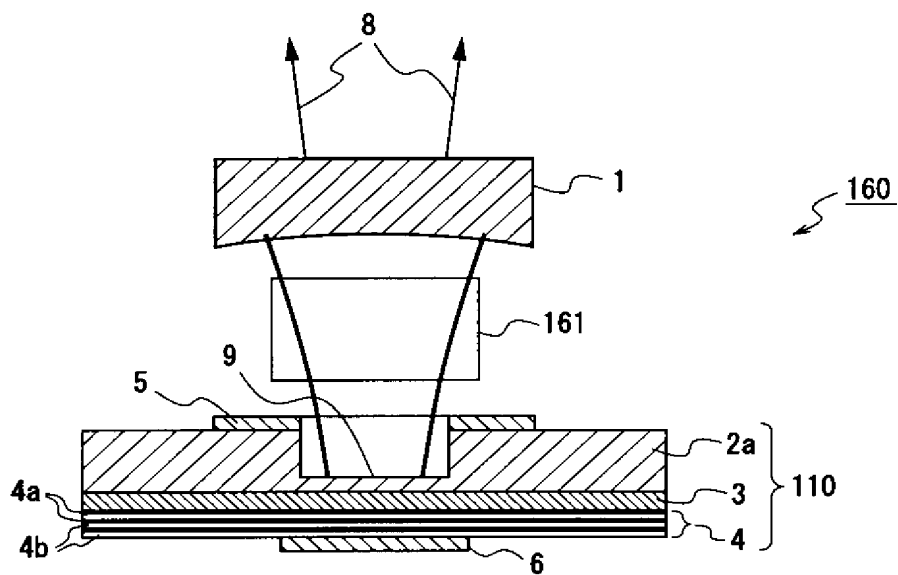
[図8]



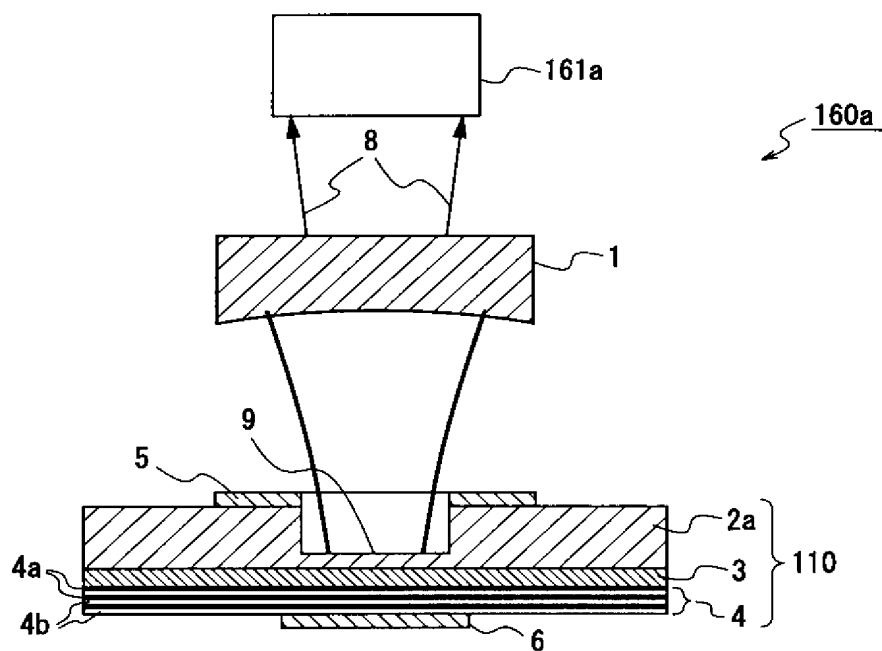
[図9]



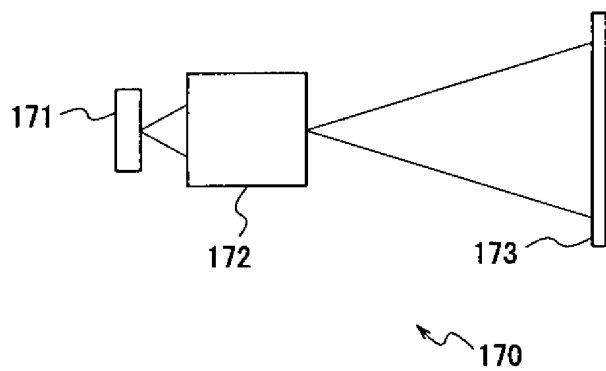
[図10]



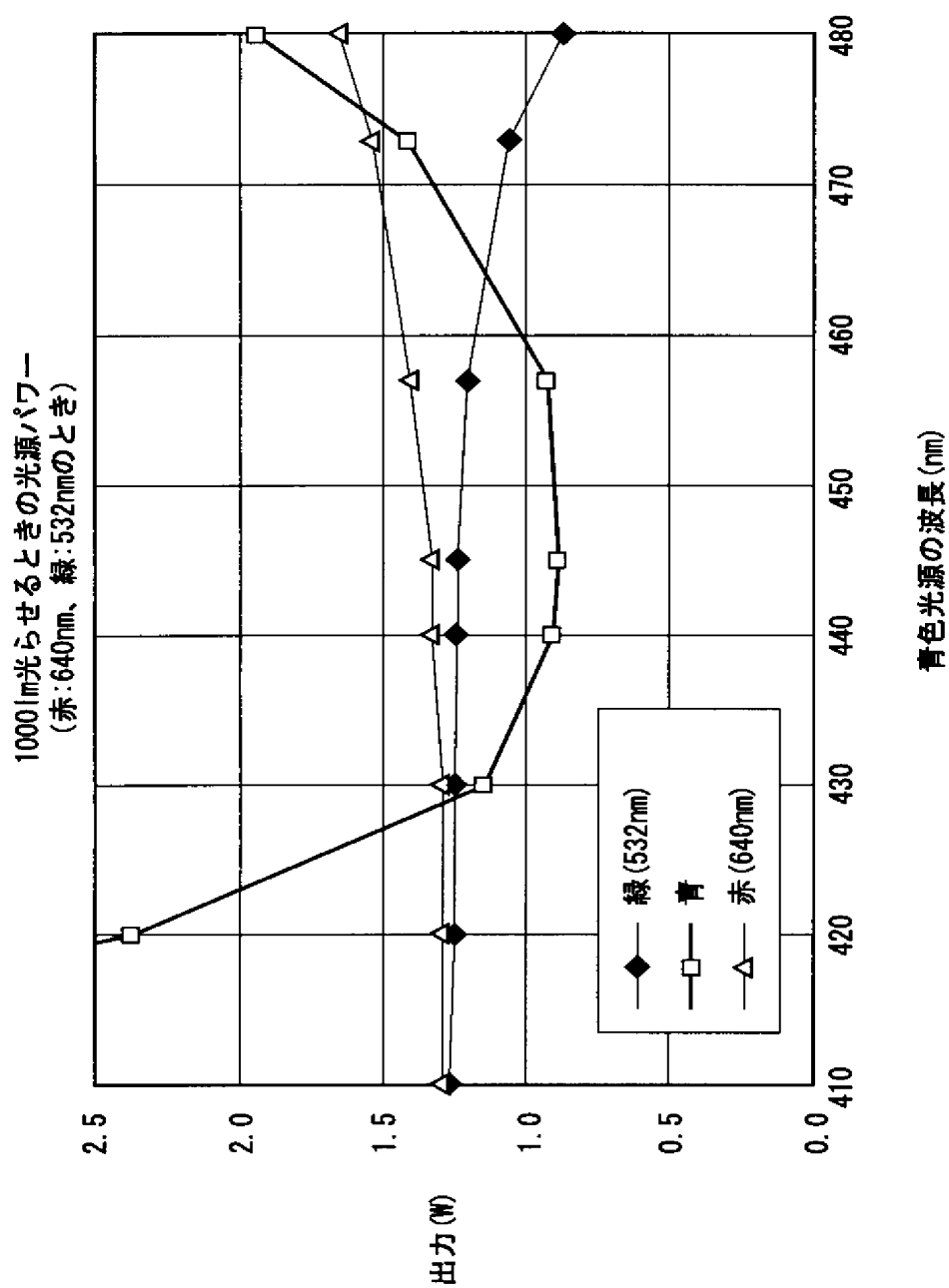
[図11]



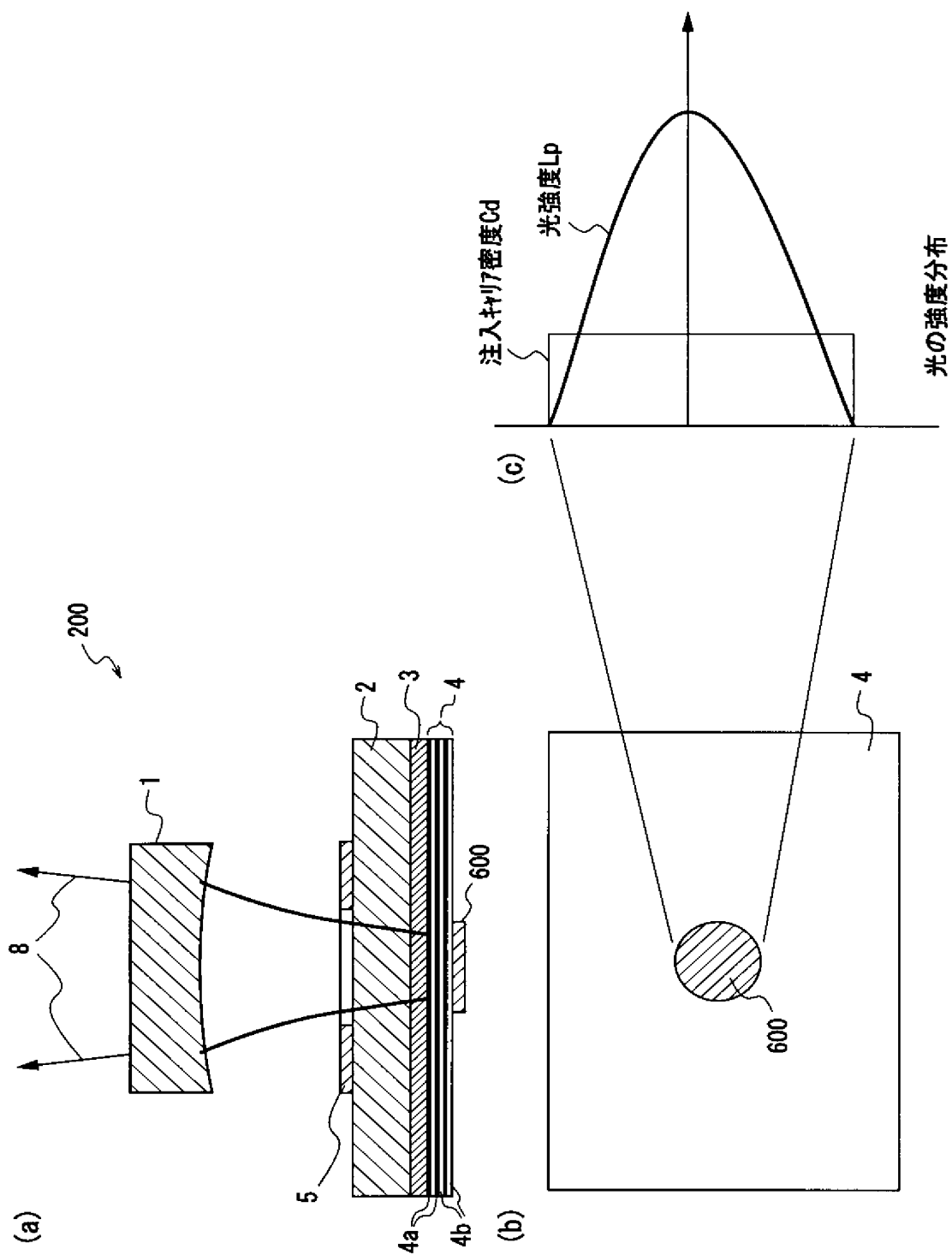
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019060

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01S5/183, H01S5/042, G02F1/37

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 09-260763 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 03 October, 1997 (03.10.97),	1, 2, 8-11, 13, 15-19
Y	Figs. 4 to 12; Par. Nos. [0030] to [0044]	6, 7, 12, 14
X	JP 07-321405 A (Gijutsu Kenkyu Kumiai Shinjoho Shori Kaihatsu Kiko),	1, 2, 8-11, 13, 15-19
Y	08 December, 1995 (08.12.95), Figs. 1, 2; Par. Nos. [0012] to [0020]	6, 7, 12, 14
X	US 5343487 A1 (OPTICAL CONCEPTS, INC.), 30 August, 1994 (30.08.94),	1, 5, 8-11, 13, 15-19
Y	Figs. 6, 7; Full text	6, 7, 12, 14
X	JP 11-233889 A (Director General, Agency of Industrial Scien), 27 August, 1999 (27.08.99), Fig. 1; Full text	1, 20-25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 March, 2005 (25.03.05)

Date of mailing of the international search report
12 April, 2005 (12.04.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019060

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-502119 A (Novalux Inc.), 13 February, 2001 (13.02.01), Fig. 2; Full text	6, 7, 12, 14
Y	JP 2002-185078 A (Sony Corp.), 28 June, 2002 (28.06.02), Par. No. [0013]	7
A	JP 11-068225 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 09 March, 1999 (09.03.99), Full text	4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2004/019060

JP 09-260763 A	1997.10.03	(Family: none)
JP 07-321405 A	1995.12.08	(Family: none)
US 5343487 A1	1994.08.30	(Family: none)
JP 11-233889 A	1999.08.27	JP 2920213 B1
JP 2001-502119 A	2001.02.13	US 6243407 B1
		US 6404797 B1
		US 6614827 B1
		EP 0968552 A1
		WO 1998/043329 A1
		AU 6939698 A
		BR 9808393 A
		HU 0001761 A2
		IL 0131977 A
		NZ 0337874 A
		CA 2284225 A1
		PL 0335834 A1
		AU 0732161 B2
		CZ 9903245 A3
		RU 2190910 C2
JP 2002-185078 A	2002.06.28	(Family: none)
JP 11-068225 A	1999.03.09	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S5/183, H01S5/042, G02F1/37

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 09-260763 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997. 10. 03, 図4-12, 段落【0030】-【0044】	1, 2, 8- 11, 13, 15-19
Y		6, 7, 12, 14
X	J P 07-321405 A (技術研究組合新情報処理開発機構) 1995. 12. 08, 図1, 2, 段落【0012】-【0020】	1, 2, 8- 11, 13, 15-19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 03. 2005

国際調査報告の発送日

12. 4. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

2K

3412

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y		6, 7, 12, 14
X	US 5343487 A1 (OPTICAL CONCEPT S, INC.) 1994. 08. 30, Fig. 6, 7, 全文	1, 5, 8- 11, 13, 15-19
Y		6, 7, 12, 14
X	JP 11-233889 A (工業技術院長) 1999. 08. 27, 図1, 全文	1, 20-2 5
Y	JP 2001-502119 A (ノバルクス・インコーポレー テッド) 2001. 02. 13, 図2, 全文	6, 7, 12, 14
Y	JP 2002-185078 A (ソニー株式会社) 2002. 06. 28, 段落【0013】	7
A	JP 11-068225 A (富士ゼロックス株式会社) 1999. 03. 09, 全文	4

JP 09-260763 A	1997. 10. 03	ファミリーなし
JP 07-321405 A	1995. 12. 08	ファミリーなし
US 5343487 A1	1994. 08. 30	ファミリーなし
JP 11-233889 A	1999. 08. 27	JP 2920213 B1
JP 2001-502119 A	2001. 02. 13	US 6243407 B1 US 6404797 B1 US 6614827 B1 EP 0968552 A1 WO 1998/043329 A1 AU 6939698 A BR 9808393 A HU 0001761 A2 IL 0131977 A NZ 0337874 A CA 2284225 A1 PL 0335834 A1 AU 0732161 B2 CZ 9903245 A3 RU 2190910 C2
JP 2002-185078 A	2002. 06. 28	ファミリーなし
JP 11-068225 A	1999. 03. 09	ファミリーなし